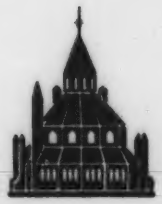
PRB 01-4E



Library of Parliament
Bibliothèque du Parlement

OZONE: THE EARTH'S SUNSCREEN

Joanne Agterberg
Daniel Brassard
Science and Technology Division

2 April 2001

PARLIAMENTARY RESEARCH BRANCH
DIRECTION DE LA RECHERCHE PARLEMENTAIRE

The Parliamentary Research Branch of the Library of Parliament works exclusively for Parliament, conducting research and providing information for Committees and Members of the Senate and the House of Commons. This service is extended without partisan bias in such forms as Reports, Background Papers and Issue Reviews. Research Officers in the Branch are also available for personal consultation in their respective fields of expertise.

CE DOCUMENT EST AUSSI PUBLIÉ EN FRANÇAIS

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

TABLE OF CONTENTS

	Page
INTRODUCTION	1
THE ALTERED NATURAL SYSTEM	1
A. Thermal Radiative Balance	5
B. Ultraviolet Rays	5
1. Impact on Human Health	6
2. Impact on Terrestrial Flora	7
3. Impact on Aquatic Life	8
4. Impact on Air Pollution	9
EXTENT OF THE DAMAGE	10
OZONE-DEPLETING SUBSTANCES	12
A. Agents	12
B. Innovation	14
ACTION TO REDUCE THE DESTRUCTIVE AGENTS	16
A. International Action	16
B. Federal Initiatives	19
C. Federal-Provincial Action	21
D. Action Still to be Taken	23
SUMMARY AND CONCLUSION	25
APPENDIX: Ozone-Depleting Substances	

CANADA
LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

OZONE: THE EARTH'S SUNSCREEN

INTRODUCTION

Life on Earth is a delicate balance of many different elements. The conditions necessary for the diversity and abundance of life are fairly restricted and any major change can have unpredictable results. The energy of the sun maintains all forms of life on the planet.

Ultraviolet radiation (UV) is one of the main components of the sun's energy transmitted to the Earth. This radiation is necessary in moderation; in excess, it can cause serious problems for humans and the biosphere in general. Ozone in the stratosphere moderates the amount of radiation reaching the Earth. The stratosphere is a layer of the atmosphere above the lower layer and denoted by a temperature inversion where ozone acts as the Earth's sunscreen, filtering out the most harmful wavelengths of UV.

Since the 1970s, we have known that various manufactured products are destroying this life-preserving filter. Findings by the U.S. National Aeronautics & Space Administration (NASA) suggest that upper atmospheric ozone loss in the North will likely continue to increase in the coming years.(1) According to several scientific models and a report issued by Environment Canada, serious depletion episodes could become more frequent over the next 20 years, with the most frequent ozone destruction in the Arctic estimated to occur between 2010 and 2020.(2) This paper will discuss the various aspects of the ozone situation, from technical explanations to the latest efforts to remedy the problem.

THE ALTERED NATURAL SYSTEM

Over geological time periods, the atmosphere has changed, becoming the Earth's protective blanket, enabling life to exist. Life on Earth evolved slowly so that each portion of the ecosystem is adapted to make best use of the available conditions. Over the past century, human activity has altered the atmosphere at an unnaturally rapid rate, thereby reducing the ability of some organisms to adapt.

---

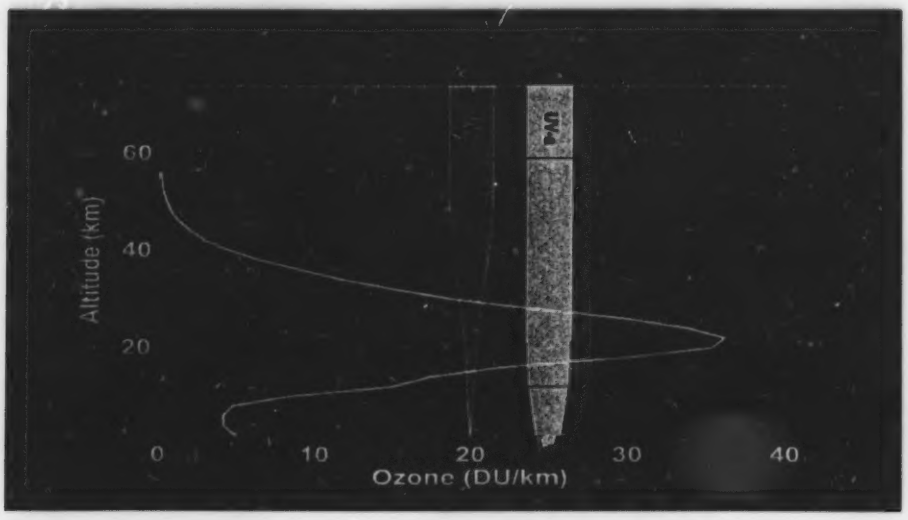
(1) National Aeronautics & Space Administration, Ames Research Center, *NASA News*, April 2000.

(2) Environment Canada, *Arctic Ozone: The Sensitivity of the Ozone Layer to Chemical Depletion and Climate Change*, December 1998.

Although certain modifications to our surroundings are apparent, others are more difficult to observe. Smog, for instance, is very noticeable; however, the altered absorptive and reflective qualities of the atmosphere are more difficult to observe directly.

A basic understanding of the processes surrounding this phenomenon is needed to fully appreciate the importance of a reduced quantity of ozone in the upper atmosphere. Ozone (O_3) is a pungent-smelling, slightly bluish gas, with one more oxygen atom than molecular oxygen (O_2). It can be found at ground level as pollution, where it is harmful to life, and naturally up to an altitude of about 60 km (see Figure 1). Generally, 85% of all ozone is contained in a region of the stratosphere, of varying altitude depending on latitudinal position, known as the ozone layer.(3) On average, the amount of global ozone in the stratosphere is 300 Dobson Units (DU), equivalent to a thickness of pure ozone of only 3 mm, at ground level pressure and 0°C. When stratospheric ozone falls below 200 DU, this is considered the beginnings of an "ozone hole."

Figure 1



A typical vertical profile of ozone density in the midlatitudes of the Northern Hemisphere (units=Dobson Units/kilometre). The stratosphere lies between the tropopause and stratopause. Superimposed on the figure are plots of UV radiation as a function of altitude for UV-a (320-400 nm), UV-b (280-320 nm), and UV-c (200-280 nm). The width of the bar indicates the amount of energy as a function of altitude. The UV-c energy decreases dramatically as ozone increases because of the strong absorption in the 200-280 nm wavelength band. The UV-b is also strongly absorbed, with a small fraction reaching the surface. The UV-a is only weakly absorbed by ozone, with some scattering of radiation near the surface.(4)

---

(3) Environment Canada, Atmospheric Climate Science Directorate, "Stratospheric Ozone," January 2001.

(4) Paul A. Newman, SAGE III Ozone Loss and Validation Experiment, SOLVE: A NASA DC-8, ER-2 and High Altitude Balloon Mission, National Aeronautics & Space Administration/Goddard Space Flight Center, March 1999.

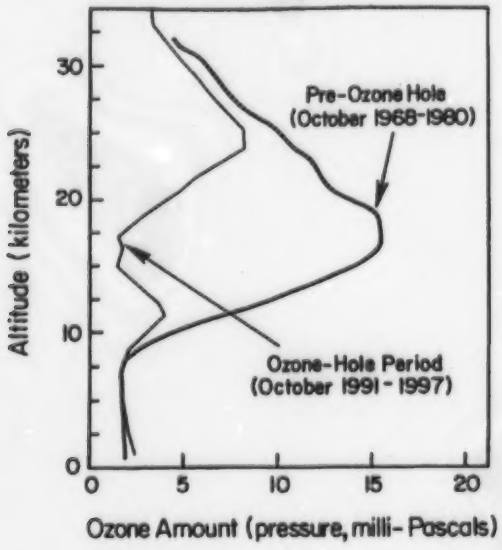
LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

102-04036/

Ozone is produced when high-energy radiation, such as ultraviolet radiation, causes oxygen molecules to split into two oxygen atoms which recombine with other oxygen molecules. The stratospheric concentration of ozone reaches new equilibrium points based on the relative rates of its formation and destruction, which are dependent on various conditions. The greatest ozone losses occur at the altitudes where ozone is most abundant, as can be seen in Figure 2.[5]

Figure 2[6]

Springtime Depletion of the Ozone Layer over Syowa, Antarctica



The destruction of stratospheric ozone is complex and involves numerous factors. The process is accelerated by the presence of significant levels of catalysts,[7] specifically chlorine and bromine, members of the extremely reactive "halogen family" of elements. The chlorine and bromine in the stratosphere originate from numerous sources, both man-made and natural. The major source of halogens in the atmosphere is man-made products known as

---

(5) Paul J. Crutzen and Veerabhadran Ramanathan, "Pathways of Discovery – The Ascent of Atmospheric Sciences," *Science*, Vol. 290, 13 October 2000.

(6) United Nations Environment Programme (UNEP), The Ozone Secretariat, *Frequently Asked Questions About Ozone to the Scientific Assessment Panel*, 2000.

(7) Catalysts are characterized by the same quantity being present at the beginning and end of a reaction.

halocarbons,[8] which constituted 82% of chlorine entering the stratosphere in the early 1990s.[9] Natural sources of halogens have a shorter lifespan than halocarbons. Unless injected directly into the stratosphere by major volcanic activity, they are dissolved and washed out by precipitation found in lower regions of the atmosphere where weather is prevalent. Halocarbons do not dissolve in water and therefore all emissions eventually reach the stratosphere via atmospheric mixing, typically over a period of five years.

When halocarbons reach the stratosphere, high-energy ultraviolet radiation and contact with other chemicals break the bonds that hold the atoms together, liberating the halogens to chemically bond in several other ways, as hydrogen chloride or chlorine nitrate, for example.

The stratosphere is known for its absence of clouds, yet ozone depletion occurs most often on polar stratospheric clouds (PSCs), luminescent clouds consisting of super-cooled water, nitric and sulphuric acid. PSCs form at low temperatures and act as active sites[10] on which a very slow reaction in the gas phase can go very quickly heterogeneously, i.e., on solid surfaces. When PSCs occur, the chlorine which is sequestered, by hydrogen ions[11] or nitrogen oxides,[12] is liberated as chlorine gas (Cl_2), producing nitric acid.[13] Several other heterogeneous reactions also take place on PSCs, contributing to ozone depletion.

The molecular chlorine is dissociated by solar radiation when polar night has ended. Chlorine atoms react with ozone (O_3) to form chlorine monoxide (C1O) and molecular oxygen (O_2). Chlorine monoxide then combines with atomic oxygen (O), produced by the process of natural ozone creation, to produce molecular oxygen (O_2) and regenerate atomic chlorine (Cl). Typically, one chlorine atom, acting as a catalyst, can destroy up to 100,000 ozone molecules, repeatedly destroying ozone molecules, when conditions are right, for about 100 years.

---

(8) The general term for chlorofluorocarbons (CFCs), and other substances of similar composition containing bromine.

(9) UNEP, *Frequently Asked Questions About Ozone to the Scientific Assessment Panel*, 2000.

(10) Thomas G. Chasteen, *Ozone's Problem with Polar Stratospheric Clouds*, Dept. of Chemistry, Sam Houston State University, Spring 1997.

(11) Charged particles.

(12) *Ibid.*

(13) Newman, SAGE III Ozone Loss and Validation Experiment, 1999.

Polar regions experience the greatest number of PSCs due to a phenomenon known as the polar vortex. This rotating parcel of extremely cold stratospheric air occurs during the long polar night. The vortex prevents atmospheric mixing of additional stratospheric ozone or heat. Rapid ozone loss occurs on these platforms when sunlight returns to photolyse[14] the chlorine molecules. Often PSC particles containing nitrogen will grow in size[15] and settle to a lower level, known as denitrification. Therefore, the chlorine does not become sequestered by nitrogen oxides again but rather a continuation of catalytic ozone destruction occurs.[16]

Because the topography of the Antarctic is generally uniform, the southern polar vortex is stronger than at the Arctic. In localized areas over Antarctica, ozone can drop dramatically by up to 70% in the course of a few weeks.[17]

Environmental consequences of ozone depletion are two-fold. The earth's radiative energy balance is altered and the amount of harmful ultraviolet solar rays reaching the Earth's surface increases.

A. Thermal Radiative Balance

Ozone plays a role in regulating the flow of heat through the atmosphere by absorbing the sun's radiation. The exact distribution of ozone in the stratosphere thus affects the temperature of the atmosphere and weather patterns. Even small changes in the energy input to the atmosphere from the sun or the energy exchange by radiation between the ground and the atmosphere can influence climate.[18] The temperature distribution in the stratosphere is directly dependent on the distribution of ozone.[19] This is of great consequence because ozone depletion is highly sensitive to temperature.

B. Ultraviolet Rays

The sun emits a wide spectrum of energy. Some is in the form of ultraviolet energy, which has a wavelength shorter than violet light. The portion of the ultraviolet light with

---

(14) Break apart due to ultraviolet radiation.

(15) Richard A. Kerr, "Stratospheric 'Rocks' May Bode Ill for Ozone," *Science*, Vol. 291, No. 5506, February 2001.

(16) Christiane Voigt *et al.*, "Nitric Acid Trihydrate (NAT) in Polar Stratospheric Clouds," *Science*, Vol. 290, No. 5497, October 2000.

(17) *Ibid.*

(18) Environment Canada, *Stratospheric Ozone*, January 2001.

(19) Environment Canada, *Arctic Ozone*, 1998.

wavelengths from 280 to 320 nanometres (or 10^{-9}m), known as ultraviolet B (UV-B), is dangerous in excess. UV-C rays are even more energetic, but they are almost fully filtered out by ozone. A decrease in the ozone layer increases UV-B intensity at ground level by approximately twice the percentage decrease, other factors excluded. For example, with an ozone decrease of 30%, UV-B reaching Earth's surface increases by 60%.(20)

High levels of UV-B cause synthetic materials such as plastic, as well as natural materials including wood, to undergo increased rates of discolouration and weakening. Many classes of materials may be susceptible; research is ongoing.

1. Impact on Human Health

Ultraviolet light can break the chemical bonds in various substances including DNA, the molecules that encode genetic information. The effects of UV radiation are complex and difficult to interpret, but several consequences of increased levels of UV-B on humans have been confirmed.

Excess exposure to UV-B radiation, especially in childhood, causes higher rates of skin cancer. One reason for this is that UV-B suppresses the skin's immune responses, so that the body is less likely to reject a growing tumour.(21) A 10% decrease in total stratospheric ozone is expected to cause an additional 300,000 cases of non-melanoma and 4,500 melanoma skin cancers globally each year.(22) Without the Montreal Protocol (discussed below in section entitled "A. International Action"), ozone depletion would have accounted for an additional 20 million cases of skin cancer.(23)

Because ultraviolet light suppresses the immune system, particularly in skin cells, infectious diseases having a stage involving the skin are likely to increase. Also, the effectiveness of vaccines against infectious disease may be limited.(24)

Repeated exposure to excessive UV radiation also sensitizes the eyes to developing cataracts, the main cause of blindness in the world. An estimated 20% of cataracts is

---

(20) UNEP, State of the Environment Norway, GRID-Adrendal, Original source: UNEP/(GEMS) library series no 7: The Impact of Ozone Layer Depletion, May 1997.

(21) *Ibid.*

(22) World Health Organization, "The Global UV Project Summary," Intersun, October 1998.

(23) "11th MOP to the Montreal Protocol and 5th COP to the Vienna Convention," *Linkages*, December 1999.

(24) UNEP, State of the Environment Norway, 1997.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

due to UV exposure.[25] Other confirmed effects include age-related nearsightedness and deformation of the lens capsule.

To reduce health risks, individuals can do a number of things such as applying a sunscreen with a sun protection factor of at least 15, wearing hats and protective clothing, staying in the shade as much as possible, and wearing high-quality sunglasses treated to absorb UV-B radiation. With proper precautions, the negative health effects of ozone reduction can be minimized.

2. Impact on Terrestrial Flora

The increased exposure to ultraviolet radiation may have a dramatic effect on plant life by affecting hormones and growth. Observed specific effects include:

- a reduction in total dry weight, nutrient content, and area available for photosynthesis;
- deterioration in the quality of certain types of tomato, legume, cabbage, potato and sugar beet;
- diminished flowering/germination rates; and
- distribution of nutrients within plants.

While some crops, such as soybean, show decreased production as a result of elevated amounts of UV-B, many other crops are unaffected, or show a high degree of tolerance. Research indicates that the growth and photosynthesis of certain plants (e.g., seedlings of rye, maize and sunflower) can be inhibited even under ambient levels of UV-B.[26]

For many organisms, protective mechanisms may not be sufficient to protect against increased levels of UV radiation. (There are indications that some weeds are more UV-resistant than crops.) Exposure tests have shown that more than 100 species of land plants could be sensitive to increases in UV radiation as a result of stratospheric ozone depletion. International research has revealed that some species of rice suffer from even minor increases in UV-B. Research into the efficient breeding and cultivation of strong species may help to offset some of the damaging effects.

Because the sensitivity of trees and other plant species varies, the diversity and distribution of such species could change, and it is even possible that some species could

---

(25) World Health Organization, "The Global UV Project Summary," 1998.

(26) *Environmental Effects of Ozone Depletion: 1991 Update* (1991), p. iii.

disappear.[27] Studies show that many species of conifer are negatively affected by increased UV-B radiation.

An increase in the natural level of UV-B is known to cause mutations in microorganisms. However, with the possibility of more rapid mutations, rapid adaptation to UV-B stress may result. Although some research is showing that limited adaptation is possible, most of the effects remain very negative. A decreased rate of the fixing of atmospheric nitrogen by fungi would require significant global substitution by artificial fertilizer.[28] Nitrogen compounds, largely produced by microorganisms in the soil, seem to play a major role in the natural control of ozone levels.[29]

3. Impact on Aquatic Life

All areas of the biosphere appear to be affected by increased UV-B to some extent, some more so than others. Phytoplankton (phyto = plant) is highly sensitive to UV radiation; it lacks the protective layers of higher forms of life and drifts along at the water's surface where exposure to UV-B can occur. As well as being the basis of the aquatic food web, phytoplankton is a major oxygen producer and a carbon sink, known to assimilate large amounts of atmospheric carbon dioxide. Marine phytoplankton produces at least as much biomass as all terrestrial ecosystems combined. Changes to phytoplankton production could exacerbate the greenhouse effect.

Scientists at the University of Plymouth have found that the reproductive cells of algae are several times more sensitive to ultraviolet radiation than are mature cells. Laboratory research revealed that asexual spores of the selected species were six times more sensitive to UV-B than were mature plankton. Free-swimming gametes, the sexual means of reproduction, were even more susceptible. Ecological impact could be greatest at particular times in the spring, during so-called "blooms" when plankton reproduction is most intense.[30] Assessment of these effects on phytoplankton is difficult because of the lack of data describing UV-B and biological levels during the period before the depletion of the ozone layer.

---

(27) Synthesis of the Reports of the Ozone Scientific Assessment Panel, Environmental Effects Assessment Panel, Technology and Economic Assessment Panel, Prepared by the Assessment Chairs for the Parties to the Montreal Protocol, November 1991, p. 6.

(28) *Ibid.*, p. iv.

(29) Crutzen and Ramanathan, "Pathways of Discovery," 2000.

(30) Fred Pearce, "Algal Gloom," *New Scientist,* August 1998.

Zooplankton (zoo = animal) – small organisms, such as fish and crustacean larvae – are at risk as well as anchovies because they spend critical periods near the surface of the water where UV-B can penetrate. A reduction of these organisms found near the base of the food chain could result in a reduction of the fish population. This may have an adverse impact on the global food supply. Fish account for 18% of the animal protein in the world and 40% of the protein consumed in Asia.[31] Freshwater marine ecosystems are also at risk from the intensification of UV-B exposure.[32]

There is widespread agreement that ozone-related increases in UV-B have the potential to cause wide-ranging direct and indirect effects on aquatic ecosystems, especially at the poles where life forms are less acclimatized to intense sunlight. Studies generally show that the increased UV radiation under the Antarctic ozone hole reduces plankton production by between 6% and 12% during exposure. Damage at the molecular, cellular, population and community levels has been demonstrated.

4. Impact on Air Pollution

Atmospheric changes resulting from the increased UV-B radiation are of special concern. Diminished air quality in the troposphere, the lower level of the atmosphere, has been noted. Chemical reactivity in the troposphere increases in response to increased UV-B, resulting in higher levels of air pollution. UV-B stimulates the formation of molecules that react rapidly with other chemicals to form new substances. For example, hydroxyl radicals are generated, which contribute to the creation of ground level ozone, aerosols and other harmful pollutants. In urban areas, a 10% reduction of the ozone layer is likely to result in a 10-25% increase in tropospheric ozone. Irradiated smog contributes to oxidized organic[33] chemicals, such as formaldehydes. These molecules tend to form reactive hydrogen radicals, which contribute to the formation of hydrogen peroxide. Hydrogen peroxide is the principal chemical that oxidizes sulfur dioxide to form sulfuric acid in cloud water, making it an important part of acid rain formation.[34]

---

(31) Stephen O. Anderson, "Halons and the Stratospheric Ozone Issue," *Fire Journal*, Vol. 8, No. 3, May-June 1987.

(32) Reinhard Pienitz and Warwick F. Vincent, "Effect of climate change relative to ozone depletion on UV exposure in sub arctic lakes," *Nature*, pp. 404, 484-487, March 2000.

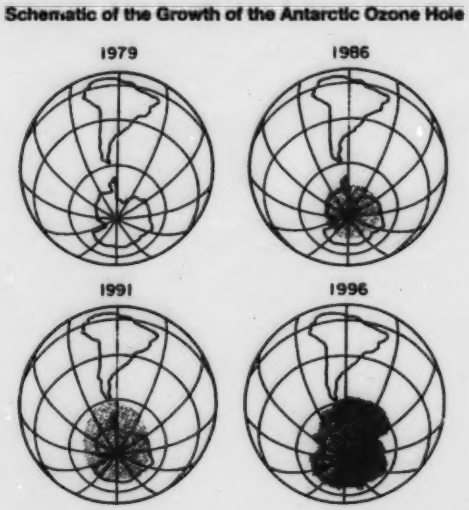
(33) Containing carbon.

(34) UNEP, State of the Environment Norway, 1997.

EXTENT OF THE DAMAGE

Increasingly severe ozone depletion now occurs each spring over Antarctica (see Figure 3), and the year-round levels are lower than normal. The year 2000 ozone hole was the largest ever over Antarctica, forming two weeks earlier than before and extending past the polar vortex.(35)

Figure 3(36)



Arctic ozone depletion has not occurred as dramatically as over the Antarctic. The Arctic region's polar vortex usually dissipates in late winter before sunlight returns. However, occurrences of significant ozone depletion are becoming more frequent in the Arctic. Many international projects involving satellites, high altitude aircraft, balloons and ground stations are helping to improve understanding of processes that govern the generation, depletion and distribution of ozone. A variety of techniques are used to detect and measure the various factors involved. NASA's Upper Atmosphere Research Satellite (UARS) was launched in September 1991. This satellite was configured to measure levels of ozone-depleting chemicals

(35) The 2000 ozone hole, British Antarctic Survey, December 2000.

(36) UNEP, *Frequently Asked Questions About Ozone to the Scientific Assessment Panel*, 2000.

as well as ozone levels at various altitudes. The U.S. TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) satellite is used to deduce the ozone levels from the back-scattered sunlight in the UV range.

The Global Ozone Monitoring Experiment (GOME), launched in April 1995 on the European ERS-2 satellite, marked the beginning of a long-term ozone monitoring effort. Scientists receive high-quality data on the global distribution of ozone and several other climate-influencing trace gases in the Earth's atmosphere. GODIVA is the Global Ozone Data Interpretation, Validation and Application component of GOME, which also contributes to other experiments such as the Third European Stratospheric Experiment on Ozone 2000 (THESEO 2000) and the SAGE III Ozone Loss and Validation Experiment (SOLVE) which have been conducted jointly. More than 350 researchers have participated from the U.S., Europe, Russia, Japan and Canada. Project results support the theory that recovery of the ozone layer may be delayed due to a strengthening of the polar vortex and a cooling of the stratosphere.

Environment Canada is involved in a variety of experiments dealing with ozone chemistry, such as the Canadian Middle Atmosphere Initiative, with the purpose of modeling, assimilating data, and monitoring this region of the atmosphere.[37] A Canadian satellite (SCISAT-1) of the Atmospheric Chemistry Experiment (ACE) is expected to be launched in 2002 to study global ozone depletion.[38]

Analysis of satellite data reveals that the loss of ozone in the Northern Hemisphere is now proceeding faster than previously thought. Although no Arctic ozone losses comparable with those in the Antarctic have occurred, ozone losses have increased greatly during the 1990s in the Arctic. Isolated ozone losses approaching 45% give cause for concern due to the higher number of human populations than at the South Pole.[39]

At both poles, ozone loss is expected to grow larger during the coming decades before recovering. It has been recently discovered that greenhouse gases are causing more dramatic upper-atmospheric cooling.[40] Computer models predict that temperature and wind changes induced by greenhouse gas emissions may allow a stronger and longer-lasting atmospheric vortex to form above the Arctic.

---

(37) Environment Canada, The Canadian Middle Atmosphere Initiative, April 2000.

(38) Canadian Space Agency, SCISAT-1: Canada's next scientific satellite, Apogee – Space Science, October 1999.

(39) Environment Canada, *Arctic Ozone*, 1998.

(40) Fred Pearce, "Chill in the air," *New Scientist*, May 1999.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

OZONE-DEPLETING SUBSTANCES

A. Agents

When concern about the ozone layer first surfaced in the 1970s, attention initially focused on advanced aircraft as the root of the problem, then shifted to the ordinary aerosol spray can. The group of industrial chemicals known as CFCs (chlorofluorocarbons) were used as propellants at that time. Thousands of tonnes were being released directly into the lower atmosphere where they began their gradual drift upward to destroy the stratospheric ozone. Since then, the list of materials known to destroy the stratospheric ozone has greatly expanded.

The impact of aircraft on stratospheric ozone depletion is still being researched.(41) Studies have shown that improved efficiency and management strategies are required to reduce aviation's impact on ozone depletion.(42) In-flight measurements of emissions were taken of supersonic exhaust, greatly contributing to the reliability of studies regarding the effect of this form of transportation on stratospheric ozone.(43) Emissions of nitrogen compounds (NO and NO2) from supersonic aircraft is of concern, due to the inevitability of increasing fleet size and the high altitudes of flight.

CFCs, and the other ozone-destroying agents, are ubiquitous in almost every society. They are used in a wide range of products that are frequently not recognized as containing ozone-destroying materials. Because of the range of materials involved, the term "ozone-depleting potential" (ODP) was adopted to indicate the potential of a substance to destroy ozone, on a mass-per-kilogram basis, compared to an ODP value of one given to Trichlorofluoromethane, known as CFC-11 in the conventional system of classification. The ODP is based upon various factors such as the substance's atmospheric lifetime, molecular weight, its ability to be photolytically disassociated, and other factors determined to provide an accurate estimate of the relative ozone-depletion potential.

---

(41) Joyce E. Penner *et al.*, "Aviation and the Global Atmosphere Summary for Policy Makers," Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme/World Meteorological Organization, April 1999.

(42) "Summary of the Eleventh Meeting of the Parties to the Montreal Protocol and the Fifth Conference of the Parties to the Vienna Convention," *Earth Negotiations Bulletin*, Vol. 19, No. 6, December 1999.

(43) "Supersonic Aircraft Exhaust Measurements to Help Ozone Aircraft Studies," NASA HQ Public Affairs Office, October 1995.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

The table in the Appendix lists many ozone-destroying agents with associated ODP, as well as some replacements for CFCs. The hydrochlorofluorocarbons (HCFCs), the current replacement for CFCs, have a low ODP, while the hydrofluorocarbons (HFCs) have a zero ODP and so are not included. Ongoing research causes some ODP values to be updated over time. Lifespans are still being measured. UNEP rates a country's progress in meeting goals by measuring production of groups of ozone-depleting substances in ODP tonnes (metric tonnes times ODP).

Quantitatively, CFCs have been the main ozone-destroying agents. Because of their stable, non-toxic, non-flammable and non-corrosive characteristics, they have been used in refrigeration, aerosols, solvents, and the production of foams. Alternative technologies have been developed for many of these applications, and the current challenge is to ensure that the vast existing amounts of CFCs used in refrigeration and air conditioning are reclaimed rather than permitted to escape into the atmosphere.

The other major group of ozone-destroying agents are the halons, which are of similar composition to CFCs but contain bromine. Halons are used as fire-fighting chemicals for numerous reasons, including their low toxicity, unobstructed visibility during discharge, low corrosive or abrasive residue, and high effectiveness per pound. Although the production of halons in developed countries has been largely phased out since 1994, the stratospheric concentration of these potent ozone destroyers is still rising, due to their long atmospheric lifetimes and the time required for atmospheric mixing. In developing countries, there are no restrictions on halons until January 2002. Halons have an extremely high ozone-depleting potential (three to ten times higher than CFCs), and their intended use results in release directly to the atmosphere. The remaining agents – such as carbon tetrachloride, methyl chloroform, and methyl bromide – have been used in several ways, for example, as feedstocks to produce CFCs, in pesticides and in dry cleaning agents.

In 1997, the overall halocarbon burden in the stratosphere, or effective equivalent chlorine (EECL), began to decrease, largely due to the phasing out of trichloroethane, a cleaning solvent. Due to its relatively short lifespan of 4.8 years, it is now largely absent from the stratosphere. Without this influence, the EECL would still be rising; however, the EECL may not decrease significantly more unless emissions of potent, longer-lasting ozone-depleting substances (ODS) decline further by 2010. The chemical currently contributing the most to

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

EECL in the atmosphere is halon-1211. Amounts have remained relatively constant in the stratosphere despite limitations on its production in developed countries.[44]

B. Innovation

The need to reduce the use of ozone-destroying agents has stimulated many technological innovations and the use of alternative materials for each application. Noteworthy innovations include new propellants, solvents, foaming agents, fire suppressants, and pest management techniques.[45] The urgent need for change has also made progress in recovery and recycling technology indispensable. The largest and most difficult changes have taken place in refrigeration and air conditioning. Most of the research has been aimed at finding alternatives to CFCs as a refrigerant.

CFCs have been largely phased out in developed countries. Many replacements have been based on HCFCs and to some extent on HFCs. The first use of HFC-134 in automobile air conditioners was in 1991, but its use is quickly expanding. One of the problems associated with the use of HCFCs and HFCs is that they are less energy efficient than CFCs. DuPont, the world's largest producer of CFCs, halted CFC production in 1993, five years earlier than originally planned, and now produces HCFCs and HFCs. HCFCs are very strong greenhouse gases, designated by amendments to the Montreal Protocol to be phased out by 2030 in developed countries. Some HFCs also have a large global warming potential and long lifetimes.

An exciting advance towards resolving the refrigerant problem is the development of the thermoacoustic refrigerator, which has no moving parts and uses environmentally benign gases. Although the principle on which it works is simple, the actual design is complex. A loudspeaker at the end of a tube produces a loud note that resonates inside a gas-filled tube. This generates a standing wave,[46] which effectively transmits the heat towards the antinode.[47],[48] Because this vibration is accurately controlled, thermoacoustic refrigerators will be quieter than conventional refrigerators. A recent demonstration at the Los Alamos National Laboratory

---

(44) S.A. Montzka, J.H. Butler, J.W. Elkins, T.M. Tompson, A.D. Clarke and L.T. Lock, "Present and future trends in the atmospheric burden of ozone-depleting halogens," *Nature*, Vol. 398, April 1999.

(45) Environment Canada, "Success Stories – Finding Alternatives," *The Green Lane*, 1997.

(46) A stationary wave formed of several identical waves overlapping.

(47) The region of maximum amplitude between two adjacent nodes in a standing wave.

(48) "Cooling with Sound: An Effort to Save Ozone Shield," *New York Times*, 25 February 1992.

showed how the design could be simplified by eliminating the cold heat exchanger and cooling the thermoacoustic working gas instead.[49]

Another exciting innovation is the magnetic refrigerator, developed by Astronautics Corporation of America under a contract with the U.S. Department of Energy. It has comparable energy efficiency to conventional household units. The cost of the gadolinium magnet is the major obstacle to its widespread use, although in the near future it will likely be marketed to large-scale commercial enterprises.[50]

Other solutions include designs with less coolant but larger surface area coverage of the coolant. An inexpensive yet useful alternative for desert living recently earned Mohammed Bah Abba of Nigeria a Rolex Prize for enterprise. The system, based on the cooling properties of evaporation, uses damp sand between clay pots.[51] Ionizing radiation is also an alternative to refrigeration for preserving food supplies.[52]

Ammonia is widely used as a refrigerant in industry, for cold storage warehouses and petrochemical facilities, as examples. The shortcomings of this refrigerant are its corrosive and flammable nature at certain concentrations in air. Accidental releases, which are exacerbated by the pressurized nature of this refrigeration system, have caused injury and death from inhalation of the fumes and have contaminated water.[53] In terms of the ozone layer, ammonia would form other stable compounds before reaching the stratosphere.

Solutions to CFC usage in the production of foams, for uses ranging from insulation to foam cups, have included lessening the amount of propellant required and replacing the CFCs with less-damaging HCFCs. The Lily Cup Inc., of Toronto, has developed an innovative technique after many years of research, which uses oxygen and recycled carbon dioxide as a foaming agent.[54]

Changes have been made even in the health care sector. For example, hospitals have reduced the use of CFCs as sterilants. Canada is phasing out CFC propellants in metered-dose inhalers (MDIs) by 2005. The first CFC-free MDI was approved for use in August 1997.

---

(49) Peter T. Landsberg, "Thermodynamics: Cool Sounds," *Nature*, August 1998.

(50) Mark Alpert, "A Cool Idea," *Scientific American*, May 1998.

(51) Naomi Lubick, "Desert Fridge," *Scientific American*, November 2000.

(52) Alan Hall, "What's the Beef?" *Scientific American*, November 1997.

(53) Ammonia Refrigeration, Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor, March 2001

(54) William Murray, "New Technology Developments as a Result of CFC Phase-Out," Prepared for the House of Commons Standing Committee on Environment, Parliamentary Research Branch, Library of Parliament, 1 April 1992, p. 2.

In this product, the CFC propellant has been replaced by hydrofluoroalkane (HFA), which does not cause ozone depletion. The safety of HFA for medicinal use has been demonstrated through extensive testing. The CFC-free MDI has now been approved for use in more than 35 countries.(55)

The electronics industry was one of the principal users of CFC-based solvents. For most applications, new solvents that do not use CFCs have been developed. In 1991, Northern Telecom developed and implemented an alternative technology for soldering electronic circuit boards which did not involve needing to use solvents first.(56) The company co-founded the Industry Co-operative for Ozone Layer (now the International Co-operative for Environmental Leadership), which shares new technology. This earned Northern Telecom the Financial Post 1993 Appropriate Technology Award.(57) Many large electronic manufacturers have now eliminated the use of CFCs.

Heat treatment, the use of diatomaceous earth, or live biological control are alternatives to the use of methyl bromide as a produce and crop fumigant. Knowzone Solutions inc., of Canada, recently acquired the rights to the Bromosorb® Technology for the capture of methyl bromide after fumigation.

Securiplex Inc. of Canada has developed several alternatives to halons in fire protection, which rapidly extinguish fires without equipment damage.

ACTION TO REDUCE THE DESTRUCTIVE AGENTS

A. International Action

The international community has taken up the challenge of halting the destruction of the stratospheric ozone layer. This is one of the main reasons for the rapid technological development of alternatives to CFCs. Canada, a very active participant in international discussions, took early action. In March 1980, this country prohibited the use of CFCs in most common consumer aerosols, such as hairsprays, deodorants and antiperspirants.

In 1985, the Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer called for voluntary measures to reduce emissions of ozone-depleting substances.(58) Canada was the first

---

(55) "Phasing Out CFC-Inhalers – Making the Transition to CFC-free MDIs," *The Green Lane*, Environment Canada, July 1999.

(56) "No More Ozone-Depleting Solvents," *Toronto Star*, 16 December 1991.

(57) Environment Canada, "Success Stories," 1997.

(58) Also known as ozone-depleting chemicals (ODCs).

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

nation to ratify the Vienna Convention in June 1986. More comprehensive initiatives have been agreed to since this first major international agreement.

In an unprecedented demonstration of global cooperation, the world's nations committed themselves to stringent action to protect the ozone layer. In September 1987 they adopted the Montreal Protocol, a schedule to reduce and eventually eliminate the production of CFCs and halons. The Montreal Protocol works through a system of trade barriers controlling the supply of ODS, while permitting transfer of essential use exemptions between parties. It came into effect 1 January 1989. The results of the Montreal Protocol have led to a peaking of chlorinated substances in the stratosphere.

Amendments to the Protocol have:

- advanced the schedule for phase-out of chemical compounds destructive to ozone in the stratosphere;
- added additional ODS to the list; and
- altered requirements for essential use exemptions.

Even as the Montreal Protocol was being signed, it was recognized that it needed stronger controls, which were effected at the London conference in 1990. The Protocol's list of controlled substances was expanded by ten, including methyl chloroform and carbon tetrachloride. Phase-out dates were set for 2000 and 2010 for developed and developing countries, respectively. Many parties at this conference committed themselves to the elimination of CFCs by 1997, three years ahead of the international target. This amendment included the provision of a fund to assist developing nations operating under Article 5 of the Protocol. The Multilateral Fund has subsequently been assisting developing nations to switch to more ozone-friendly substances and technology by providing financial assistance, training and technological information. Implementing Agencies of the Multilateral Ozone Fund include:

- United Nations Environment Programme (UNEP);
- United Nations Development Programme (UNDP);
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO); and
- World Bank.

The 1992 Copenhagen Amendment tightened the schedule so that developed countries were to phase out CFCs, carbon tetrachloride and methyl chloroform by 1996 and halons by 1994. Methyl bromide and hydrobromofluorocarbons (HBFCs) and hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) were also added to the list of substances to be phased out by

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

1996 and 2030, respectively. This amendment also strengthened trade controls and non-compliance procedures.

The 1995 Vienna Adjustments froze the production and consumption of methyl bromide at 1995-1998 levels and planned to freeze consumption levels of HCFCs in 2016.

The Montreal Amendment, developed in 1997, moved the phase-out date of methyl bromide to 2005 and 2015 for developed and developing countries, respectively. A new licensing system involving regular exchange of information between parties was developed to arrest illegal trade in ODS.

Initiatives of the December 1999 Beijing Amendment, which Canada was one of the first countries to accept, has yet to be ratified by the 20 countries required to bring it into force. It includes new controls on the production of HCFCs, freezing production at 1989 levels in 2004 towards a phase-out in 2030 in industrialized countries, and a freeze at 2015 levels in developing countries in 2016.[59] The new amendment also bans trade in HCFCs in 2004 with countries which have not yet ratified the 1992 Copenhagen amendment. Phase-out of a recently developed ODS, bromochloromethane, is to be carried out in all countries by 2002. At the same time, the Executive Committee of the Multilateral Ozone Fund decided to increase aid to India and China in cutting production over the next ten years. These countries have had difficulty meeting reduction targets.[60]

Imports of newly produced CFCs and halons by developed countries have largely been banned, as have imports and exports of other potent ODS. Existing ozone-depleting substances are re-used and recycled where possible. Developing countries have been extended a period of grace under Article 5 of the Protocol so long as their use of ODS does not grow significantly. These parties have kept their production of CFCs at the 1995-1997 baseline levels and are beginning the process of phasing out the use of these substances to 50% by the year 2005.

Eastern European and large Asian nations – such as Russia, China and India – are having difficulty incorporating advanced refrigeration technologies. With collaboration, the much-needed changes are being made just as these massive populations begin to fully share in this desirable technology. Currently, China is the world's largest producer of CFCs and halons. The Global Environmental Facility, through UNDP, has been assisting the phase-out of Russian CFC production facilities and the modernization of appliance manufacturing in China[61] and

---

(59) Environment News Service, "Stronger Global Ozone Layer Action Agreed," December 1999.

(60) Ehsan Masood, "Ozone recovery will be long-term affair," *Nature*, Vol. 373, June 1998.

(61) Environment News Service, "China Warms to Fridge Project," December 1999.

India; both of these countries are beginning to produce refrigerators which use hydrofluorocarbon and isobutane.(62)

In 1997, the total costs of the measures taken to protect the ozone layer were calculated to be US $235 billion. However, the avoided adverse effects on fisheries, agriculture and materials alone are estimated to be twice that expenditure.(63)

B. Federal Initiatives

Canada has revised the *Ozone-Depleting Substances (ODS) Regulations, 1998*, under the *Canadian Environmental Protection Act*, as of January 2001, to: address the amendments to the Montreal Protocol; improve controls on ODS; and address administrative issues.

Federal regulations prohibit production and importation of CFC and halons in most cases, and set out strict controls on exports. Current federal regulations prohibit import and export of recovered halons except by permit.

Restrictions on the refilling of equipment encourage conversion to alternatives. The transition is made easier due to the imposition of decreased supply so that the cost of CFCs is increasing steadily while the cost of replacements is decreasing. Canadian ODS reduction is apparent in the following figure.

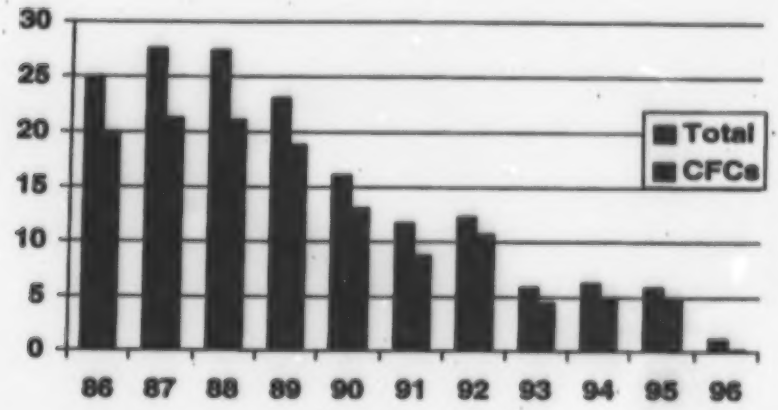
---

(62) Namrata Singh, "Godrej-GE Appliances to phase out CFC by 2000," *The Financial Express*, India, April 1998.

(63) UNEP, *Frequently Asked Questions About Ozone to the Scientific Assessment Panel*, 2000.

Figure 4[64]

CANADIAN ODS CONSUMPTION (kilotonnes)



* all quantities are ODP weighted.

In 1996, manufacturers started using alternative refrigerants for new equipment. However, a large number of CFC-containing units remained available on the market until recently. These appliances have a long service life of approximately 13-15 years. The stock of CFCs should be available for servicing household appliances until 2020.

Production of carbon tetrachloride, methyl chloroform, and methyl bromide has been phased out in industrialized nations and there is not a serious surplus to manage in Canada.

At this time, Canada has one permanent approved incineration facility for disposal of ODS, located at Swan Hills, Alberta. Because the facility has limited capacity, Canada may allow the export of ODS for destruction at a suitable facility abroad. Currently, other facilities capable of destroying ODS are operating in Australia, Sweden, Germany, Japan, the United Kingdom, Russia and the United States.

To permit Canadians to take suitable precautions against increased UV-B levels, Environment Canada announced an advisory service shortly after NASA had confirmed the strong possibility of a substantial reduction of the ozone layer over a large area of Canada. The service began 13 March 1992, much sooner than originally planned, and provides daily

---

(64) Canadian Council of Ministers of the Environment, *National Action Plan*, Environmental Protection Service of Environment Canada, January 1998.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

information on guarding against exposure to the sun in view of changing UV-B levels, making Canada the first country to issue nation-wide daily forecasts of solar UV radiation. The UV Index has been emulated around the world, allowing the public to limit their exposure when the harmful rays are most intense.(65)

A cross-country network of monitoring stations has kept continuous watch on Canada's ozone layer for more than three decades. The existence of these early records, before any major human influence on the upper atmosphere, is vital to understanding the changes that have occurred. The World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) is one of six recognized World Data Centres which are part of the Global Atmosphere Watch (GAW) programme which in turn is part of the World Meteorological Organization (WMO). The WOUDC, operated by the Experimental Studies Division of the Meteorological Service of Canada,(66) is located in Toronto.

C. Federal-Provincial Action

International agreements have been translated into national objectives. In Canada, the federal government has been working very cooperatively with the provinces to implement the necessary changes. Industry has also become increasingly involved. The Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) directed in April 1989 that the Federal-Provincial Action Committee (FPAC) of the *Canadian Environmental Protection Act* coordinate the development of controls across all jurisdictions. The CCME has taken the lead in organizing multi-jurisdictional participation in the reduction, recovery and recycling of CFCs. On 21 August 1990, the CCME established a working group to develop a National Action Plan for reduction, recovery and recycling.

The CCME accepted and published the National Action Plan in 1992. The rapid development of such a major plan demonstrates the level of cooperation between the various governments on this important environmental issue. This plan identified six major tasks, which have been completed or are ongoing:

1. To mandate, under provincial regulations, the recovery, recycling and reclamation of CFCs and HCFCs from all refrigeration and air conditioning uses. This includes banning the deliberate release of CFCs and HCFCs into the atmosphere.

---

(65) Environment Canada, "The health impacts of living with ultraviolet radiation," September 1997.

(66) Formerly Atmospheric Environment Services.

2. To develop, in conjunction with industry trade associations, training programs in recovery and recycling for the service sector. The training would include the Federal Code of Practice for Emission Reduction of CFCs, as well as hands-on equipment training.

3. To characterize the existing bank of CFCs in Canada, necessary to measure the effectiveness of recovery/recycling activities and to plan for ultimate destruction scenarios.

4. To develop, with the involvement of industry and standards associations, appropriate standards for the quality of recycled refrigerant and for the performance of recovery equipment.

5. To ensure that the general public is informed of the problem and the solutions. The public's reaction and participation is an integral part of resolving the problem.

6. To revise government purchasing/procurement standards, including service contracts, to ensure recovery and recycling of CFCs, HCFCs and halons.

The most recent *National Action Plan for the Environmental Control of Ozone-Depleting Substances and their Halocarbon Alternatives (NAP)*, published in 1998 by the Canadian Council of Ministers of the Environment, aims to continue to reduce emissions of ozone-depleting substances.

In 1998, NAP stated the following objectives:

- To improve the environmental management of all ODS and halocarbon alternatives and to reduce their emissions during the installation, operation, maintenance, repair, disposal, and decommissioning of systems and equipment.

- To provide consistency for industry and to minimize the impact on other environmental issues.

- To meet these new needs by revising the original tasks, including:
  - the continuation of original tasks as needed;
  - original tasks that have been expanded to include halocarbon alternatives;
  - new tasks to reflect the revised "Environmental Code of Practice for Elimination of Fluorocarbon Emissions from Refrigeration and Air Conditioning Systems" and to enhance the recovery of refrigerants;
  - new tasks reflecting the "Code of Practice for halons";
  - new tasks focused on other industry sectors to reduce fluorocarbon emission; and

- new tasks to provide basic information necessary for controlling future actions.

All provincial governments and one territorial government have regulations controlling the release of ODS and mandating recovery and recycling.(67)

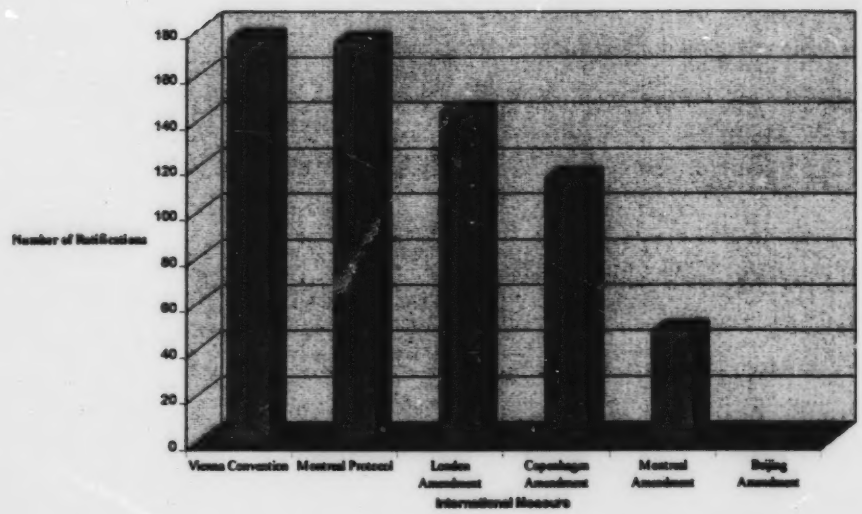
D. Action Still to be Taken

At the most recent meeting of the parties, in Beijing, the Executive Secretary of the Ozone Secretariat, K. Madhava Sarma, noted that consumption and production of ODS has fallen by nearly 90% but that there are hurdles to overcome. These were listed as growing emissions due to:

- exemptions;
- increased global warming which could delay the ozone layer's recovery;
- new ozone-depleting substances coming onto the market; and
- slow ratification of the Protocol's amendments, illustrated in Figure 5.(68)

Figure 5

Status of Ratification as of 22 January 2001



(67) Canadian Council of Ministers of the Environment, *National Action Plan*, Environmental Protection Service of Environment Canada, January 1998.

(68) "Summary of the 20th Meeting of the Open-ended Working Group of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer: 11-13 July 2000," *Earth Negotiations Bulletin*, Vol. 19, No. 7, December 2000.

As previously mentioned, HCFCs – the current replacements for CFCs – are scheduled to be phased out in the next few decades due to their high greenhouse gas potential, so that replacements for these, too, will be needed.

Vast inventories of equipment and materials containing CFCs still exist. The phase-out continues for developed nations, which have been using CFCs since they were invented more than 50 years ago. If ODS are not successfully phased out of the growing economies of Asia, in particular, the Protocol will not succeed.

Much of the foam and insulation containing CFCs are in refuse piles with liberation of these ODS remaining uncertain. In addition, the world has a billion refrigeration and air conditioning units, many of which are poorly maintained and leaking CFCs, and which, when they are no longer serviceable, are simply thrown into landfill sites. These vast quantities of CFCs may still find their way into the atmosphere.

As a result of the decline in the production and use of CFCs in developed countries and the continuation of CFC production in developing countries until 2010, lucrative international smuggling of CFCs exists.[69] The extent of the smuggling is an estimated 10% of the legal trade.[70] Parties of the Montreal Protocol have been urged at meetings to install licensing programs and to subject smugglers to heavy penalties. The United States currently has the largest black market of ODS.[71] To address the issue of smuggling, surveyed countries suggested the following actions:

- drafting legislation;
- coordinating agencies;
- implementing a system of licensing; and
- training prosecutors, investigative agents and customs officials.[72]

It has recently been understood that although "greenhouse gases" are warming the atmosphere near the Earth's surface, they are also cooling the stratosphere by altering the radiative balance and consequently strengthening the Arctic polar vortex.[73] It must be recognized that global warming is inter-connected with ozone depletion in the stratosphere. In

---

(69) David Spurgeon, "Ozone treaty 'must tackle CFC smuggling'," *Nature*, Vol. 389, No. 219, September 1997.

(70) Vinod Chhabra, "Montreal Protocol and After," *The Financial Express*, India, August 1997.

(71) "11th MOP to the Montreal Protocol and 5th COP to the Vienna Convention," *Linkages*, December 1999.

(72) *Ibid.*

(73) Drew T. Shindell, David Rind and Patrick Lonergan, "Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse-gas concentrations," *Nature*, April 1998.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

February of 1999, Hartmut Grassl, the director of the UN's World Climate Research Programme, made the upper atmosphere his new number one priority in the wake of concern that not enough is known about changes in the upper atmosphere above inhabited polar regions of the North.(74)

SUMMARY AND CONCLUSION

Life on Earth remains a delicate balance of many different elements. Use of ozone-depleting substances has jeopardized what acts as the Earth's sunscreen. The harmful effects of increased UV-B have been worsening. Now that research is confirming a connection between climate change and depletion of the ozone layer, predictions for recovery have been extended.(75)

The international community has cooperated as never before to remedy this situation. The reduction, recycling and replacement of ozone-destroying substances is progressing. Thus far, industrialized countries have reduced production and consumption of ODS by 85%.(76) New technologies are being developed so that ozone-depleting agents can be eliminated. Although the concentration of chlorine is declining in the stratosphere and the rate of increase of halons is slowing, several models now show the peak of ozone depletion occurring around the year 2020, rather than the previous estimate of the year 2000.(77) Had there not been international effort to limit the amount of ozone-depleting chemicals in the atmosphere, the situation would be much worse, and would have continued for many more decades.

If international commitments are kept, the ozone layer is expected to recover to pre-1980 levels during the latter half of this century.(78) With the intricacies and inter-relationships of ozone chemistry and mechanics of the upper atmosphere unfolding, the global community's full compliance with the Montreal Protocol and with efforts to control greenhouse gases is proving necessary in regaining the natural balance between ozone production and destruction in the upper atmosphere.

---

(74) Pearce, "Chill in the air," 1999.

(75) Peter Aldhous, "Global warming could be bad news for Arctic ozone layer," *Nature*, Vol. 404, April 2000.

(76) "11th MOP to the Montreal Protocol and 5th COP to the Vienna Convention," *Linkages*, December 1999.

(77) Shindell, Rind and Lonergan, "Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse-gas concentrations," 1998.

(78) R. Monastersky, "A sign of healing appears in stratosphere," *Science News*, 18 December 1999.

APPENDIX

Ozone-Depleting Substances

Chemical Name	Lifetime, in years	ODP
CFC-11 (CCl3F) Trichlorofluoromethane	45	1.0
CFC-12 (CCl2F2) Dichlorodifluoromethane	100	1.0
CFC-113 (C2F3Cl3) 1,1,2-Trichlorotrifluoroethane	85	0.8
CFC-114 (C2F4Cl2) Dichlorotetrafluoroethane	300	1.0
CFC-115 (C2F5Cl) Monochloropentafluoroethane	1700	0.6
Halon 1211 (CF2ClBr) Bromochlorodifluoromethane	11	3.0
Halon 1301 (CF3Br) Bromotrifluoromethane	65	10.0
Halon 2402 (C2F4Br2) Dibromotetrafluoroethane		6.0
CFC-13 (CF3Cl) Chlorotrifluoromethane	640	1.0
CFC-111 (C2FCl5) Pentachlorofluoroethane		1.0
CFC-112 (C2F2Cl4) Tetrachlorodifluoroethane		1.0
CFC-111 (C3FCl7) Heptachlorofluoropropane		1.0
CFC-112 (C3F2Cl6) Hexachlorodifluoropropane		1.0
CFC-113 (C3F3Cl5) Pentachlorotrifluoropropane		1.0
CFC-114 (C3F4Cl4) Tetrachlorotetrafluoropropane		1.0
CFC-115 (C3F5Cl3) Trichloropentafluoropropane		1.0
CFC-116 (C3F6Cl2) Dichlorohexafluoropropane		1.0
CFC-117 (C3F7Cl) Chloroheptafluoropropane		1.0
CC14 Carbon tetrachloride	35	1.1
Methyl Chloroform (C2H3Cl3) 1,1,1-trichloroethane	4.8	0.1
Methyl Bromide (CH3Br)	0.7	
CHFBr2		1.0
HBFC-12B1 (CHF2Br)		0.74
CH2FBr		0.73
C2HFBr4		0.3 – 0.8
C2HF2Br3		0.5 – 1.8

C2HF3Br2		0.4 – 1.6
C2HF4Br		0.7 – 1.2
C2H2FBr3		0.1 – 1.1
C2H2F2Br2		0.2 – 1.5
C2H2F3Br		0.7 – 1.6
C2H3FBr2		0.1 – 1.7
C2H3F2Br		0.2 – 1.1
C2H4 Br		0.07 – 0.1
C3HFBr6		0.3 – 1.5
C3HF2Br5		0.2 – 1.9
C3HF3Br4		0.3 – 1.8
C3HF4Br3		0.5 – 2.2
C3HF5Br2		0.9 – 2.0
C3HF6Br		0.7 – 3.3
C3H2FBr5		0.1 – 1.9
C3H2F2Br4		0.2 – 2.1
C3H2F3Br3		0.2 – 5.6
C3H2F4Br2		0.3 – 7.5
C3H2F5Br		0.9 – 1.4
C3H3FBr4		0.08 – 1.9
C3H3F2Br3		0.1 – 3.1
C3H3F3Br2		0.1 – 2.5
C3H3F4Br		0.3 – 4.4
C3H4FBr3		0.03 – 0.3
C3H4F2Br2		0.1 – 1.0
C3H4F3Br		0.07 – 0.8
C3H5FBr2		0.04 – 0.4
C3H5F2Br		0.07 – 0.8
C3H6FBr		0.02 – 0.7
HCFC-12 (CHF2Cl) Monochlorodifluoromethane	11.8	0.055
HCFC-123 (C2HF3Cl2) Dichlorotrifluoroethane	1.4	0.02
HCFC-124 (C2HF4Cl) Monochlorotetrafluoroethane	6.1	0.022
HCFC-141b (C2H3FCl2) Dichlorofluoroethane	9.2	0.11
HCFC-142b (C2H3F2Cl) Monochlorodifluoroethane	18.5	0.065
HCFC-225ca (C3HF5Cl2) Dichloropentafluoropropane	2.1	0.025
HCFC-225cb (C3HF5Cl2) Dichloropentafluoropropane	6.2	0.033

Source: United States Environmental Protection Agency, Global Programs Division, October 2000.
Original Sources: Figures in the Lifetime column are from Table 10-8 of the *Scientific Assessment of Ozone Depletion, 1998*, a report of the World Meteorological Organization's Global Ozone Research and Monitoring Project. Figures in the ODP column are from Table 11-1 of the *Scientific Assessment of Ozone Depletion*. Blanks in the data indicate that the information was not shown in the original source.

PRB 01-4F

Library of Parliament | Bibliothèque du Parlement

OZONE : L'ÉCRAN SOLAIRE DE LA TERRE

Joanne Agterberg
Daniel Brassard
Division des sciences et de la technologie

Le 2 avril 2001

PARLIAMENTARY RESEARCH BRANCH
DIRECTION DE LA RECHERCHE PARLEMENTAIRE

La Direction de la recherche parlementaire de la Bibliothèque du Parlement travaille exclusivement pour le Parlement, effectuant des recherches et fournissant des informations aux parlementaires et aux comités du Sénat et de la Chambre des communes. Entre autres services non partisans, elle assure la rédaction de rapports, de documents de travail et de bulletins d'actualité. Les attachés de recherche peuvent en outre donner des consultations dans leurs domaines de compétence.

THIS DOCUMENT IS ALSO PUBLISHED IN ENGLISH

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
ALTÉRATION DU SYSTÈME NATUREL	2
A. Équilibre du rayonnement thermique	6
B. Rayonnement ultraviolet	6
1. Incidence sur la santé humaine	7
2. Incidence sur la flore terrestre	8
3. Incidence sur la vie aquatique	9
4. Incidence sur la pollution atmosphérique	11
ÉTENDUE DES DOMMAGES	11
SUBSTANCES DESTRUCTRICES DE L'OZONE	14
A. Agents	14
B. Innovation	16
MESURES VISANT LA RÉDUCTION DES AGENTS DESTRUCTEURS	19
A. Mesures internationales	19
B. Initiatives du gouvernement fédéral	22
C. Mesures fédérales-provinciales	24
D. Mesures qui restent à prendre	26
RÉSUMÉ ET CONCLUSION	28
ANNEXE : Substances destructrices de l'ozone	

CANADA
LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

OZONE : L'ÉCRAN SOLAIRE DE LA TERRE

INTRODUCTION

La vie sur Terre repose sur un équilibre délicat entre de nombreux éléments différents. Les conditions nécessaires à la diversité et à l'abondance des formes de vie sont assez restrictives, et un changement majeur peut avoir des résultats imprévisibles. C'est l'énergie du soleil qui permet la vie, sous toutes ses formes, sur la planète bleue.

Le rayonnement ultraviolet (UV) est l'une des principales composantes de l'énergie solaire transmise à la Terre. Ce rayonnement, nécessaire en quantités modérées, peut, en quantités excessives, entraîner de graves problèmes pour l'homme et pour la biosphère en général. L'ozone présent dans la stratosphère atténue la quantité de rayonnement qui atteint la surface de la Terre. La stratosphère est une couche de l'atmosphère située en altitude, caractérisée par une inversion thermique, et où l'ozone joue pour la Terre un rôle d'écran solaire en filtrant les longueurs d'onde UV les plus dangereuses.

Depuis les années 1970, nous savons que diverses substances de synthèse détruisent cette couche protectrice. Les résultats d'études menées par la National Aeronautics & Space Administration (NASA) des États-Unis suggèrent que la perte d'ozone dans la haute atmosphère du Nord continuera d'augmenter dans les années à venir[(1)]. Selon plusieurs modèles scientifiques et un rapport publié par Environnement Canada, les épisodes d'appauvrissement grave pourraient devenir plus fréquents au cours des 20 prochaines années, et ce serait entre 2010 et 2020 que les cas de destruction seraient les plus fréquents dans l'Arctique[(2)]. Le présent document examinera les divers aspects du problème de l'ozone, depuis ses causes techniques jusqu'aux plus récents efforts faits pour le régler.

---

(1) National Aeronautics & Space Administration, Ames Research Center, *NASA News*, avril 2000.

(2) Environnement Canada, *L'ozone de l'Arctique : Sensibilité de la couche d'ozone à l'appauvrissement par les substances chimiques et au changement climatique*, décembre 1998.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

ALTÉRATION DU SYSTÈME NATUREL

Au fil des temps géologiques, l'atmosphère a connu des changements et est devenue cette couche protectrice de la Terre qui permet la présence de la vie. La vie sur Terre a évolué lentement, de sorte que chaque élément de l'écosystème s'est adapté pour tirer le meilleur parti des conditions existantes. Au cours du dernier siècle, l'activité humaine a modifié l'atmosphère à une vitesse qui défie la nature et a ainsi réduit la capacité d'adaptation de certains organismes.

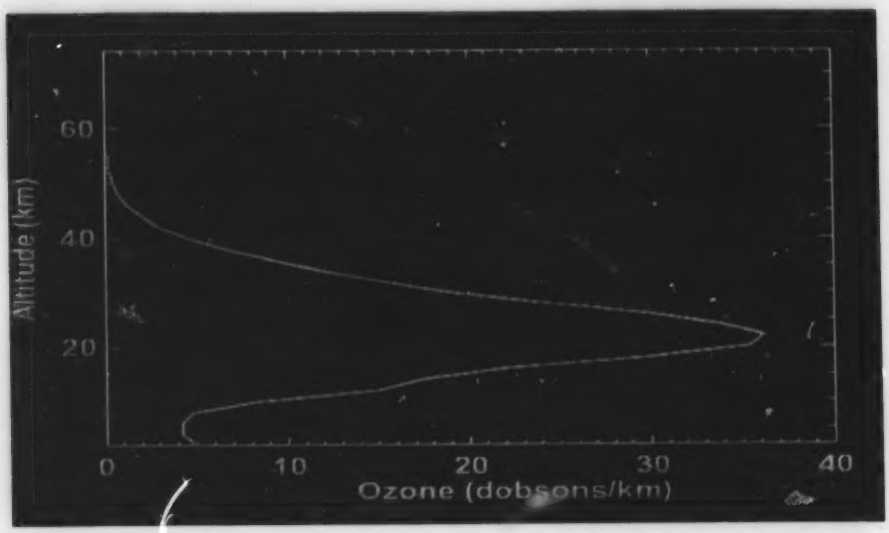
Certaines modifications de notre environnement sont évidentes; d'autres, plus difficiles à déceler. Le smog, par exemple, se remarque facilement; par contre, la modification des propriétés d'absorption et de réflexion de l'atmosphère est plus difficile à constater directement.

Il faut posséder une connaissance de base des processus qui interviennent dans ce phénomène pour apprécier pleinement l'importance de la baisse de la quantité d'ozone dans la haute atmosphère. L'ozone (O_3) est un gaz légèrement bleuté, d'odeur piquante, comportant un atome d'oxygène de plus que l'oxygène moléculaire (O_2). Il est présent au niveau du sol sous la forme de pollution, et y est dangereux pour la vie; il est aussi naturellement présent dans l'atmosphère jusqu'à une altitude d'environ 60 km (figure 1). En règle générale, 85 p. 100 de tout l'ozone se situe dans une région de la stratosphère, d'altitude variable selon la latitude, connue sous le nom de « couche d'ozone »[(3)]. En moyenne, la quantité totale d'ozone présente dans la stratosphère est de 300 dobsons, ce qui équivaut à une épaisseur d'ozone pur de seulement 3 mm, à la pression au niveau du sol et à 0 °C. Lorsque l'ozone stratosphérique tombe à moins de 200 dobsons, on considère que c'est le début d'un « trou » d'ozone.

---

(3) Environnement Canada, Direction générale des sciences atmosphériques et climatiques, *L'ozone stratosphérique*, janvier 2001.

Figure 1



Profil vertical typique de la densité d'ozone aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord (unités = dobsons/kilomètre). La stratosphère se situe entre la tropopause et la stratopause. En superposition figurent des tracés du rayonnement UV en fonction de l'altitude pour les UV-A (320 à 400 nm), les UV-B (280 à 320 nm) et les UV-C (200 à 280 nm). La largeur de la barre représente la quantité d'énergie en fonction de l'altitude. L'énergie des UV-C baisse spectaculairement avec l'augmentation de l'ozone, à cause de la forte absorption dans la plage de longueurs d'onde de 200 à 280 nm. Les UV-B sont aussi beaucoup absorbés, et seule une petite fraction en atteint la surface. Les UV-A ne sont que faiblement absorbés par l'ozone, avec une certaine diffusion près de la surface[4].

L'ozone se forme lorsque du rayonnement de haute énergie, comme le rayonnement ultraviolet, dissocie les molécules d'oxygène en deux atomes d'oxygène qui se recombinent avec d'autres molécules d'oxygène. La concentration stratosphérique d'ozone atteint de nouveaux points d'équilibre selon les vitesses relatives de sa formation et de sa destruction, qui elles-mêmes dépendent de plusieurs conditions. Les pertes maximales d'ozone surviennent aux altitudes où il est le plus abondant, comme le montre la figure 2[5].

---

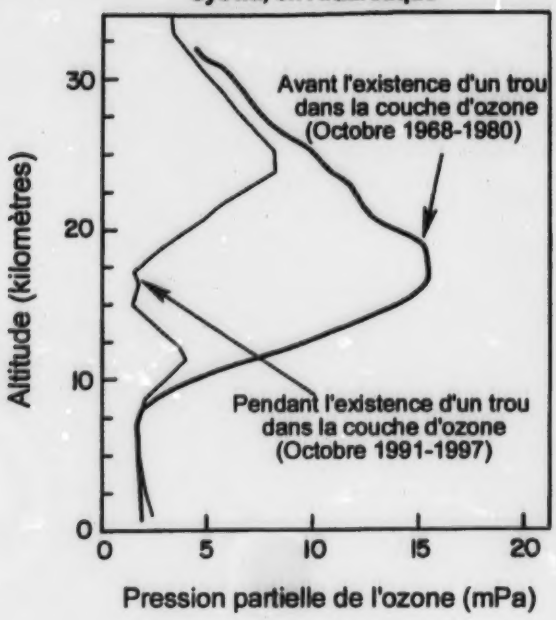
(4) Paul A. Newman, SAGE III Ozone Loss and Validation Experiment, SOLVE: A NASA DC-8, ER-2 and High Altitude Balloon Mission, National Aeronautics & Space Administration/Goddard Space Flight Center, mars 1999.

(5) Paul J. Crutzen et Veerabhadran Ramanathan, « Pathways of Discovery – The Ascent of Atmospheric Sciences », *Science*, vol. 290, 13 octobre 2000.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Figure 2[6]

Appauvrissement printanier de la couche d'ozone au-dessus de Syowa, en Antarctique



La destruction de l'ozone stratosphérique est un processus complexe, qui fait intervenir de nombreux facteurs. Elle est accélérée par la présence de niveaux significatifs de catalyseurs[7], plus précisément le chlore et le brome, qui sont membres de la famille des halogènes, des éléments extrêmement réactifs. Le chlore et le brome présents dans la stratosphère proviennent de nombreuses sources, tant humaines que naturelles. La principale source des halogènes dans l'atmosphère est constituée de produits de synthèse appelés « halocarbures »[8], qui contribuaient pour 82 p. 100 au chlore pénétrant dans la stratosphère au début des années 1990[9]. Les halogènes de source naturelle ont une durée de vie plus courte que les halocarbures. À moins qu'ils ne soient injectés directement dans la stratosphère par une activité volcanique importante, ils sont dissous et lessivés par les précipitations dans les basses régions de l'atmosphère, où

---

(6) Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Secrétariat de l'ozone, *Questions fréquentes sur l'ozone posées au groupe de l'évaluation scientifique*, 2000.

(7) Les catalyseurs se caractérisent par le fait qu'ils sont présents dans la même quantité au début et à la fin de la réaction.

(8) Terme général désignant les chlorofluorocarbures (CFC), et d'autres substances de composition similaire contenant du brome.

(9) PNUE, *Questions fréquentes sur l'ozone posées au groupe d'évaluation scientifique*, 2000.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

interviennent les conditions météorologiques. Les halocarbures ne sont pas solubles dans l'eau; toutes les quantités émises atteignent donc à terme la stratosphère via le mélange atmosphérique, en général sur une période de 5 ans.

Lorsque les halocarbures atteignent la stratosphère, l'exposition au rayonnement ultraviolet de haute énergie et le contact avec d'autres substances chimiques brisent les liaisons entre les atomes, libérant les halogènes qui peuvent se lier chimiquement de nombreuses manières, par exemple en chlorure d'hydrogène ou en nitrate de chlore.

La stratosphère est réputée pour son absence de nuages; pourtant, l'appauvrissement de l'ozone survient surtout dans les nuages stratosphériques polaires (PSC), des nuages nocturnes lumineux composés d'eau en surfusion et d'acides nitrique et sulfurique. Les PSC se forment à de basses températures et constituent des sites actifs[10] dans lesquels une réaction très lente en phase gazeuse peut se faire très rapidement dans un processus hétérogène, c'est-à-dire sur des surfaces solides. Lorsqu'il y a des PSC, le chlore qui est séquestré, par des ions hydrogène[11] ou des oxydes d'azote[12], est libéré sous la forme de chlore gazeux (Cl_2), produisant de l'acide nitrique[13]. Plusieurs autres réactions hétérogènes se déroulent aussi dans les PSC, et contribuent à l'appauvrissement de l'ozone.

Le chlore moléculaire est dissocié par le rayonnement solaire après la fin de la nuit polaire. Les atomes de chlore réagissent avec l'ozone (O_3) pour former du monoxyde de chlore (ClO) et de l'oxygène moléculaire (O_2). Le monoxyde de chlore se combine alors avec l'oxygène atomique (O), libéré dans le processus naturel de création de l'ozone, pour donner de l'oxygène moléculaire (O_2) et régénérer du chlore atomique (Cl). De façon générale, lorsque les conditions y sont favorables, un seul atome de chlore, agissant comme catalyseur, peut détruire jusqu'à 100 000 molécules d'ozone, sur une centaine d'années.

Ce sont les régions polaires qui connaissent le plus grand nombre de PSC, à cause d'un phénomène connu sous le nom de « vortex polaire ». Cette zone d'air stratosphérique extrêmement froid en rotation autour du pôle se forme pendant la longue nuit polaire. Le vortex empêche l'apport, et le mélange atmosphérique, d'ozone stratosphérique ou de chaleur. La perte

---

(10) Thomas G. Chasteen, *Ozone's Problem with Polar Stratospheric Clouds*, Département de chimie, Sam Houston State University, printemps 1997.

(11) Particules portant une charge électrique.

(12) *Ibid.*

(13) Newman, SAGE III Ozone Loss and Validation Experiment, 1999.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

d'ozone survient rapidement sur ces plates-formes lorsque le rayonnement solaire revient et photolyse[14] les molécules de chlore. Souvent, les particules des PSC qui contiennent de l'azote grossissent[15] et s'installent à un niveau plus bas (ce processus est appelé dénitrification). Par conséquent, le chlore n'est plus séquestré par les oxydes d'azote, mais la destruction catalytique de l'ozone se poursuit[16].

Le relief de l'Antarctique étant généralement uniforme, le vortex polaire austral est plus intense que celui de l'Arctique. Au-dessus de certaines zones de l'Antarctique, la baisse de l'ozone peut atteindre 70 p. 100 en l'espace de quelques semaines[17].

Les conséquences environnementales de l'appauvrissement de l'ozone sont de deux ordres : le bilan énergétique radiatif de la Terre est altéré, et la quantité de rayonnement ultraviolet nocif qui atteint la surface de la planète augmente.

A. Équilibre du rayonnement thermique

L'ozone joue un rôle dans la régulation du flux de chaleur dans l'atmosphère en absorbant le rayonnement du soleil. La distribution exacte de l'ozone dans la stratosphère influe donc sur la température de l'atmosphère et sur les régimes météorologiques. Même de petits changements de l'apport d'énergie solaire dans l'atmosphère ou de l'échange radiatif d'énergie entre le sol et l'atmosphère peuvent modifier le climat[18]. La distribution de la température dans la stratosphère est une fonction directe de celle de l'ozone[19]. Cet état de choses a beaucoup d'importance parce que l'appauvrissement de l'ozone est très sensible à la température.

B. Rayonnement ultraviolet

L'énergie émise par le Soleil couvre un large spectre. Une partie est sous la forme d'énergie ultraviolette, qui a une longueur d'onde plus courte que celle de la lumière violette. La partie du spectre ultraviolet composée des longueurs d'onde de 280 à 320 nanomètres (ou

---

(14) Dissociation due au rayonnement ultraviolet.

(15) Richard A. Kerr, « Stratospheric 'Rocks' May Bode Ill for Ozone », *Science*, vol. 291, n° 5506, février 2001.

(16) Christiane Voigt *et al.*, « Nitric Acid Trihydrate (NAT) in Polar Stratospheric Clouds », *Science*, vol. 290, n° 5497, octobre 2000.

(17) *Ibid.*

(18) Environnement Canada, *Ozone stratosphérique*, janvier 2001.

(19) Environnement Canada, *L'ozone de l'Arctique*, 1998.

10^{-9} m), appelée ultraviolet-B (UV-B), est dangereuse en quantités excessives. Les UV-C sont encore plus énergétiques, mais sont presque entièrement filtrés par l'ozone. Un appauvrissement de la couche d'ozone fait monter l'intensité des UV-B au niveau du sol d'environ le double de la baisse en pourcentage, tous autres facteurs exclus. Par exemple, si l'ozone est appauvri de 30 p. 100, la quantité d'UV-B atteignant la surface de la Terre augmente de 60 p. 100[20].

Sous des quantités élevées d'UV-B, les matériaux synthétiques comme les plastiques, et les matériaux naturels comme le bois, changent de couleur et se détériorent plus vite. De nombreuses autres catégories de matériaux pourraient être touchés de même; les recherches à ce sujet se poursuivent.

1. Incidence sur la santé humaine

Le rayonnement ultraviolet peut briser les liaisons chimiques de diverses substances, dont l'ADN, les molécules qui codent l'information génétique. Les effets du rayonnement UV sont complexes et difficiles à interpréter, mais plusieurs conséquences de l'exposition de l'être humain à des niveaux accrus d'UV-B ont été confirmées.

L'exposition excessive au rayonnement UV-B, surtout pendant l'enfance, cause une augmentation des cas de cancer de la peau. Une des raisons en est que les UV-B affectent les réactions immunitaires de la peau, de sorte que l'organisme est moins susceptible de rejeter une tumeur en train de grossir[21]. On s'attend à ce qu'une diminution de 10 p. 100 de l'ozone stratosphérique total entraîne chaque année, à l'échelle de la planète, une augmentation de 300 000 du nombre de cancers de la peau avec mélanome bénin et de 4 500 de celui de cancers avec mélanome malin[22]. Sans les dispositions du Protocole de Montréal (voir ci-dessous la section « Mesures internationales »), l'appauvrissement de l'ozone aurait fait chaque année 20 millions de cas additionnels de cancer de la peau[23].

Comme le rayonnement ultraviolet affaiblit le système immunitaire, surtout dans les cellules cutanées, les maladies infectieuses dont un stade implique la peau vont probablement

---

(20) PNUE, State of the Environment Norway, GRID-Adrendal, Original source: UNEP/(GEMS) library series no 7: The Impact of Ozone Layer Depletion, mai 1997.

(21) *Ibid.*

(22) Organisation mondiale de la santé, « The Global UV Project Summary », Intersun, octobre 1998.

(23) « 11th MOP to the Montreal Protocol and 5th COP to the Vienna Convention », *Linkages*, décembre 1999.

augmenter. De plus, l'efficacité des vaccins contre les maladies infectieuses peut se trouver réduite[24].

Une exposition répétée à des niveaux excessifs de rayonnement UV peut aussi sensibiliser les yeux à développer des cataractes, principale cause de cécité dans le monde. On estime que 20 p. 100 des cataractes sont dues à une exposition aux UV[25]. Parmi les autres effets confirmés figurent la myopie liée à l'âge et la déformation de la capsule du cristallin.

Afin de réduire les risques pour la santé, les gens peuvent prendre un certain nombre de mesures, comme d'appliquer des écrans solaires avec un facteur de protection d'au moins 15, de porter des chapeaux et des vêtements protecteurs, de rester le plus possible à l'ombre, et de porter des lunettes de soleil de bonne qualité traitées pour absorber le rayonnement UV-B. En prenant les bonnes précautions, on peut réduire à un minimum les effets négatifs de l'appauvrissement de la couche d'ozone sur la santé.

2. Incidence sur la flore terrestre

L'exposition accrue au rayonnement ultraviolet peut avoir des effets très marqués sur les végétaux, dont elle affecte les hormones et la croissance. Parmi les effets particuliers observés figurent :

- une réduction du poids sec total, de la teneur en éléments nutritifs et de la surface foliaire disponible pour la photosynthèse;
- une détérioration de la qualité de certains types de tomates, de légumineuses, de choux, de pommes de terre et de betteraves à sucre;
- une baisse des taux de floraison ou de germination;
- une modification de la distribution des éléments nutritifs dans la plante.

Alors que, pour certaines cultures, comme le soja, une augmentation de l'exposition aux UV-B entraîne une baisse de la production, nombre d'autres ne sont pas affectées, ou montrent une tolérance élevée. Les recherches indiquent que, chez certaines plantes (p. ex. le semis de seigle, de maïs et de tournesol), la croissance et la photosynthèse peuvent être inhibées même sous les niveaux ambiants d'UV-B[26].

---

(24) PNUE, State of the Environment Norway, 1997.

(25) Organisation mondiale de la santé, « The Global UV Project Summary », 1998.

(26) *Environmental Effects of Ozone Depletion: 1991 Update* (1991), p. iii.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Les mécanismes de protection naturels de nombreux organismes pourraient ne pas être suffisants contre des niveaux plus élevés de rayonnement UV. (On a des indications que certaines mauvaises herbes résistent mieux aux UV que les cultures.) Les tests d'exposition ont montré que plus de 100 espèces de plantes terrestres pourraient être sensibles aux augmentations du rayonnement UV dues à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique. Des recherches internationales ont révélé que certaines espèces de riz sont affectées par des accroissements même mineurs des UV-B. Des recherches menées en vue de sélectionner et de cultiver efficacement des espèces fortes pourraient aider à compenser certains des effets dommageables.

Étant que chaque essence d'arbre ou autre espèce végétale a sa sensibilité propre aux UV, la diversité et la répartition de ces espèces pourraient changer; il est même possible que certaines disparaissent[27]. Des études montrent en effet que de nombreuses espèces de conifères souffrent d'une augmentation du rayonnement UV-B.

On sait par ailleurs qu'une augmentation des niveaux naturels d'UV-B induit des mutations dans les micro-organismes. Cependant, avec la possibilité de mutations plus rapides, on pourrait constater une adaptation rapide au stress causé par les UV-B. Bien que certaines recherches indiquent qu'une adaptation limitée est possible, la majorité des effets demeurent très négatifs. À l'échelle planétaire, une baisse du taux de fixation de l'azote atmosphérique par les champignons exigerait, en compensation, un recours accru aux engrais de synthèse[28]. Les composés azotés, produits en grandes quantités par les micro-organismes du sol, semblent jouer un rôle important dans les fluctuations naturelles des niveaux d'ozone[29].

3. Incidence sur la vie aquatique

Tous les éléments de la biosphère semblent affectés à un degré quelconque par l'augmentation des UV-B. Le phytoplancton (*phyto* = plante) est très sensible au rayonnement ultraviolet; il ne dispose en effet pas des couches protectrices des organismes supérieurs et dérive à la surface des eaux, où il peut être exposé aux UV-B. En plus d'être la base du réseau trophique aquatique, le phytoplancton est un important producteur d'oxygène et un puits du

---

(27) Synthèse des rapports de l'Ozone Scientific Assessment Panel, de l'Environmental Effects Assessment Panel, du Technology and Economic Assessment Panel, préparée par les présidents des groupes d'évaluation des parties au protocole de Montréal, novembre 1991, p. 6.

(28) *Ibid.*, p. iv.

(29) Crutzen et Ramanathan, « Pathways of Discovery », 2000.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

carbone, dont on sait qu'il absorbe de grandes quantités de dioxyde de carbone atmosphérique. Le phytoplancton marin produit au moins autant de biomasse que tous les écosystèmes terrestres réunis. Des changements dans la production de phytoplancton pourraient donc exacerber l'effet de serre.

Des scientifiques de l'université de Plymouth ont constaté que les cellules reproductrices des algues sont plusieurs fois plus sensibles au rayonnement ultraviolet que les cellules à maturité. Des recherches en laboratoire ont montré que les spores asexuées des espèces étudiées étaient 6 fois plus sensibles aux UV-B que le plancton à maturité. Les gamètes flottants, mode sexué de reproduction, étaient encore plus susceptibles. L'impact écologique pourrait être maximal à certaines périodes du printemps, pendant les épisodes de « fleurs d'eau », lorsque la reproduction du plancton est la plus intense[30]. Il est difficile d'évaluer ces effets sur le phytoplancton, parce qu'on manque de données décrivant les niveaux d'UV-B et d'activité biologique pour la période antérieure à l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Le zooplancton (*zoo* = animal) – composé de petits organismes, comme des larves de poissons et de crustacés – est en péril, de même que les anchois, parce qu'ils passent des périodes critiques de leur cycle biologique près de la surface de l'eau, à une profondeur où les UV-B peuvent les atteindre. Une réduction de l'abondance de ces organismes, situés près de la base du réseau trophique, pourrait entraîner une réduction des populations de poissons. Et cette situation pourrait avoir des répercussions désastreuses sur la disponibilité de la nourriture à l'échelle de la planète. Le poisson contribue pour 18 p. 100 aux protéines animales de la planète, et pour 40 p. 100 aux protéines consommées en Asie[31]. Les écosystèmes dulcicoles sont eux aussi menacés par une intensification de l'exposition aux UV-B[32].

L'on s'entend assez bien sur le fait que les augmentations des UV-B liées à l'appauvrissement de l'ozone peuvent avoir une large gamme d'effets, directs comme indirects, sur les écosystèmes aquatiques, surtout dans les régions polaires, où les formes de vie sont moins adaptées à une lumière solaire intense. Les études montrent généralement que l'augmentation du rayonnement UV sous le trou d'ozone de l'Antarctique fait baisser de 6 à 12 p. 100 la production

---

(30) Fred Pearce, « Algal Gloom », *New Scientist*, août 1998.

(31) Stephen O. Anderson, « Halons and the Stratospheric Ozone Issue », *Fire Journal*, vol. 8, n° 3, mai-juin 1987.

(32) Reinhard Pienitz et Warwick F. Vincent, « Effect of climate change relative to ozone depletion on UV exposure in sub arctic lakes », *Nature*, p. 404, 484-487, mars 2000.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

de plancton pendant la période d'exposition. On a fait la preuve de dommages aux niveaux des molécules, des cellules, des populations et des communautés.

4. Incidence sur la pollution atmosphérique

Les changements atmosphériques découlant de l'augmentation du rayonnement UV-B sont particulièrement préoccupants. On a constaté une baisse de la qualité de l'air dans la troposphère, le niveau inférieur de l'atmosphère. La réactivité chimique dans la troposphère augmente en réponse à l'accroissement des UV-B, ce qui fait monter les niveaux de pollution atmosphérique. Les UV-B stimulent la formation de molécules qui réagissent rapidement avec d'autres substances pour en créer de nouvelles. Par exemple, il se forme des radicaux hydroxyle, qui contribuent à la production d'ozone troposphérique, d'aérosols et d'autres polluants dangereux. Dans les régions urbaines, une réduction de 10 p. 100 de la couche d'ozone induira probablement une augmentation de 10 à 25 p. 100 de l'ozone troposphérique. Le smog exposé au rayonnement contribue à l'apparition de substances organiques[33] oxydées, comme les formaldéhydes. Ces molécules ont tendance à produire des radicaux hydrogène réactifs, qui contribuent à la formation de peroxyde d'hydrogène. Le peroxyde d'hydrogène est la principale substance qui oxyde le dioxyde de soufre en acide sulfurique dans l'eau des nuages, ce qui lui confère un rôle important dans la formation des pluies acides[34].

ÉTENDUE DES DOMMAGES

Chaque année, l'appauvrissement printanier de l'ozone sur l'Antarctique est plus marqué (figure 3), et les moyennes annuelles plus basses que la normale. Le trou d'ozone de 2000 a été le plus vaste jamais constaté en Antarctique, s'est formé deux semaines plus tôt qu'à l'habitude et s'est étendu au-delà du vortex polaire[35].

---

(33) Contenant du carbone.

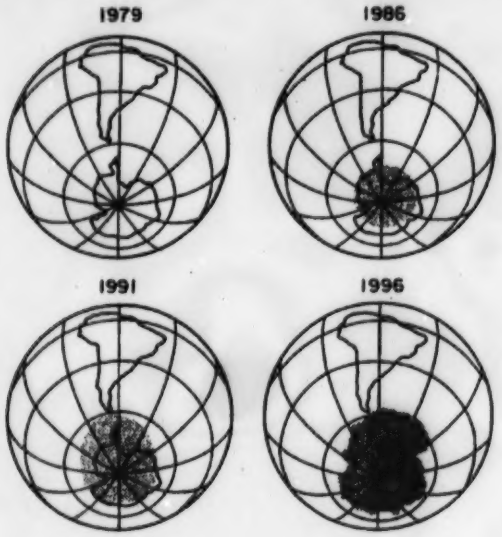
(34) PNUE, State of the Environment Norway, 1997.

(35) The 2000 ozone hole, British Antarctic Survey, décembre 2000.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Figure 3[36]

Schéma de la croissance du trou antarctique



Dans l'Arctique, l'appauvrissement de l'ozone est survenu de façon moins brutale que dans l'Antarctique. Le vortex polaire arctique se dissipe habituellement à la fin de l'hiver, avant le retour de la lumière solaire. Les épisodes d'appauvrissement significatif de l'ozone y deviennent cependant plus fréquents. De nombreux projets internationaux, faisant intervenir des satellites, des aéronefs volant à haute altitude, des ballons et des stations au sol, aident à améliorer la compréhension des processus qui régissent la production, l'appauvrissement et la distribution de l'ozone. On a recours à diverses techniques pour détecter et mesurer les facteurs en jeu. Le satellite de recherche sur la haute atmosphère (Upper Atmosphere Research Satellite, ou UARS) de la NASA a été lancé en septembre 1991. Il a été configuré pour mesurer les concentrations de substances destructrices de l'ozone, ainsi que les taux d'ozone, à diverses altitudes. L'instrument américain TOMS (pour Total Ozone Mapping Spectrometer, ou spectromètre imageur de l'ozone total), embarqué sur satellite, est utilisé pour déduire les niveaux de l'ozone du rayonnement solaire rétrodiffusé dans le spectre UV.

L'Expérience de surveillance de l'ozone (Global Ozone Monitoring Experiment, ou GOME), dont l'équipement a été lancé en avril 1995 sur la plate-forme européenne ERS-2, a

(36) PNUE, *Questions fréquentes sur l'ozone posées au groupe d'évaluation scientifique*, 2000.

marqué le début d'un programme de surveillance à long terme de l'ozone. Les scientifiques reçoivent ainsi des données de grande qualité sur la distribution planétaire de l'ozone et de plusieurs gaz traces influant sur le climat et présents dans l'atmosphère de la Terre. GODIVA (Global Ozone Data Interpretation, Validation and Application, ou Interprétation, validation et application des données mondiales sur l'ozone) est un volet de GOME, et contribue aussi à d'autres expériences comme la campagne THESEO 2000 (pour Third European Stratospheric Experiment on Ozone 2000, ou troisième expérience stratosphérique européenne sur l'ozone) et le volet Expérience sur la perte d'ozone et la validation (Ozone Loss and Validation Experiment) de SAGE III (SOLVE), qui ont été menés conjointement. À ces expériences ont participé plus de 350 chercheurs venus des États-Unis, d'Europe, de Russie, du Japon et du Canada. Les résultats de ces projets confortent la théorie que le rétablissement de la couche d'ozone pourrait être retardé, en raison d'un renforcement du vortex polaire et d'un refroidissement de la stratosphère.

Environnement Canada participe à diverses expériences liées à la chimie de l'ozone, comme l'Initiative pour l'atmosphère moyenne, dans un but de modélisation, d'assimilation des données et de surveillance de cette région de l'atmosphère[37]. Un satellite canadien (SCISAT-1) de l'Expérience sur la chimie de l'atmosphère devrait être lancé en 2002 pour étudier l'appauvrissement de l'ozone à l'échelle planétaire[38].

L'analyse des données satellitaires révèle que la perte d'ozone dans l'hémisphère Nord se produit maintenant plus rapidement qu'on ne l'avait prévu. Bien que les pertes d'ozone dans l'Arctique n'aient encore jamais été comparables à celles de l'Antarctique, elles y ont considérablement augmenté au cours des années 1990. Des pertes isolées proches de 45 p. 100 portent à s'inquiéter, la population humaine étant plus nombreuse dans cette région qu'au pôle Sud[39].

On s'attend à ce que, aux deux pôles, la perte d'ozone continue d'augmenter au cours des prochaines décennies avant que la couche d'ozone se rétablisse. Il a été récemment découvert que les gaz à effet de serre entraînent un refroidissement plus prononcé de la haute

---

(37) Environnement Canada, *Initiative pour l'atmosphère moyenne*, avril 2000.

(38) Agence spatiale canadienne, SCISAT-1 : Le prochain satellite scientifique canadien, Apogée – Science spatiale, octobre 1999.

(39) Environnement Canada, *L'ozone de l'Arctique*, 1998.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

atmosphère[40]. Les modèles informatiques prédisent que, du fait des changements des températures et des vents induits par les émissions de gaz à effet de serre, il se formerait au-dessus de l'Arctique un vortex plus intense et de plus longue durée.

SUBSTANCES DESTRUCTRICES DE L'OZONE

A. Agents

Lorsqu'on a commencé à se préoccuper de la couche d'ozone, dans les années 1970, l'attention s'est d'abord portée sur des aéronefs avancés, que l'on soupçonnait d'être à l'origine du problème, puis est passée aux plus prosaïques contenants aérosols. Les substances chimiques industrielles connues sous le nom du groupe des CFC (chlorofluorocarbures) étaient alors utilisées comme agent propulseur. Des milliers de tonnes de CFC étaient libérées directement dans la basse atmosphère, d'où ils commençaient à s'élever graduellement pour aller détruire l'ozone stratosphérique. Depuis lors, la liste des substances dont on sait qu'elles attaquent l'ozone stratosphérique s'est considérablement allongée.

On mène encore des recherches sur l'incidence des aéronefs pour ce qui est de l'appauvrissement de la couche d'ozone[41]. Des études ont montré qu'il faudrait améliorer l'efficacité et les stratégies de gestion pour réduire l'impact de l'aviation sur la couche d'ozone[42]. Des mesures en vol des émissions des avions supersoniques ont grandement contribué à améliorer la fiabilité des études sur les effets de cette forme de transport sur l'ozone stratosphérique[43]. Il convient de s'inquiéter des émissions de composés azotés (NO et NO_2) par les avions supersoniques, étant donné la haute altitude des vols et l'accroissement inéluctable de la flotte aérienne.

Les CFC, et les autres agents destructeurs de l'ozone, sont omniprésents dans presque toutes les sociétés. Ils sont utilisés dans une large gamme de produits que l'on n'associe

---

(40) Fred Pearce, « Chill in the air », *New Scientist*, mai 1999.

(41) Joyce E. Penner *et al.*, « Aviation and the Global Atmosphere Summary for Policy Makers », Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme/World Meteorological Organization, avril 1999.

(42) *Compte rendu de la 11e réunion des parties signataires du traité de Montréal et 5e conférence des parties signataire du traité de Vienne*, *Earth Negotiations Bulletin*, vol. 19, n° 6, décembre 1999.

(43) « Supersonic Aircraft Exhaust Measurements to Help Ozone Aircraft Studies », NASA HQ Public Affairs Office, octobre 1995.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

généralement pas à des substances appauvrissant la couche d'ozone. Étant donné la multitude de matières en jeu, on a adopté la notion de « potentiel de destruction de l'ozone » (PDO) pour déterminer le potentiel qu'a une substance de détruire l'ozone, sur une base de masse par kilogramme, le PDO de référence de 1 étant attribué au trichlorofluorométhane, appelé CFC-11 dans le système de classification conventionnel. Le PDO est fonction de divers facteurs, comme la durée de vie atmosphérique de la substance, son poids moléculaire, sa capacité de dissociation photolytique, et d'autres dont on sait qu'ils donnent une estimation précise du potentiel relatif de destruction de l'ozone.

Le tableau en annexe donne la liste de nombreux agents d'appauvrissement de l'ozone, avec leurs PDO, ainsi que de certains produits de remplacement des CFC. Les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), qui remplacent actuellement les CFC, ont un bas PDO; les hydrofluorocarbures (HFC) ont un PDO de zéro et ne sont donc pas énumérés. Les recherches se poursuivant, des PDO sont mis à jour à l'occasion. Certaines durées de vie sont encore en train d'être mesurées. Le PNUE évalue les progrès réalisés par un pays pour atteindre les objectifs en mesurant la production de groupes de substances appauvrissant la couche d'ozone en tonnes de PDO (tonnes métriques multipliées par le PDO).

Quantitativement, ce sont les CFC qui ont été les principaux agents destructeurs de l'ozone. Étant donné qu'ils sont stables, non toxiques, ininflammables et à l'épreuve de la corrosion, on les a utilisés comme réfrigérants, propulseurs d'aérosols, solvants et agents de gonflement des mousses. Des technologies de remplacement ont été développées pour nombre de ces applications, et le défi est maintenant de faire en sorte que les grandes quantités de CFC qui ont été utilisées en réfrigération et en climatisation soient régénérées, au lieu de les laisser s'échapper dans l'atmosphère.

L'autre grand groupe de destructeurs de l'ozone est celui des halons, qui sont de composition similaire à celle des CFC, mais contiennent du brome. On utilise encore des halons dans la lutte contre les incendies pour de nombreuses raisons : ils sont peu toxiques, ne nuisent pas à la visibilité pendant l'utilisation, laissent peu de résidus corrosifs ou abrasifs, et ont une excellente efficacité (mesurée selon le poids utilisé). Bien que la production de halons dans les pays industrialisés ait largement diminué depuis 1994, les concentrations stratosphériques de ces puissants destructeurs d'ozone continuent d'augmenter, du fait de leurs longues durées de vie atmosphériques et du temps requis pour le mélange atmosphérique. Dans les pays en développement, aucune restriction ne s'applique aux halons jusqu'à janvier 2002. Les halons ont

un potentiel de destruction de l'ozone extrêmement élevé (trois à dix fois plus grand que celui des CFC), et l'usage auquel on les destine entraîne leur rejet direct dans l'atmosphère. Les autres agents – comme le tétrachlorure de carbone, le méthyle chloroforme et le bromure de méthyle – ont été utilisés à diverses fins, par exemple comme matière de base pour la production de CFC, dans des pesticides et dans des solvants de nettoyage à sec.

En 1997, la charge globale d'halocarbures dans la stratosphère – ou équivalent chlore effectif (EClE) – a commencé à baisser, surtout en raison de l'élimination graduelle du trichloroéthane, un solvant de nettoyage. Comme il a une durée de vie relativement courte (4,8 ans), il est maintenant très peu présent dans la stratosphère. Sans ce facteur, l'EClC continuerait de monter; il pourrait cependant ne pas baisser beaucoup plus, à moins que les émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO) puissantes et de longue durée de vie ne baissent davantage d'ici 2010. La substance chimique qui contribue actuellement le plus à l'EClE dans l'atmosphère est le halon-1211. Son abondance dans la stratosphère est restée relativement constante, malgré les limites imposées à sa production dans les pays développés[44].

B. Innovation

La nécessité de réduire l'utilisation de substances appauvrissant la couche d'ozone s'est traduite par de nombreuses innovations technologiques et par l'utilisation de substances de remplacement pour chaque application. Parmi les innovations dignes de mention figurent de nouveaux propulseurs, solvants, agents moussants, agents extincteurs et techniques de lutte antiparasitaire[45]. Cet urgent besoin de changement a également imposé de faire progresser les technologies de récupération et de recyclage. Les changements les plus importants et les plus difficiles sont survenus dans le domaine de la réfrigération et de la climatisation. La plupart des recherches ont donc visé à trouver des substituts pour les CFC en tant que réfrigérants.

L'utilisation des CFC a été grandement réduite dans les pays industrialisés. De nombreux substituts faisaient appel à des HCFC et, jusqu'à un certain point, à des HFC. C'est en 1991 qu'on a pour la première fois utilisé le HFC-134 dans les climatiseurs d'automobiles, et cet

---

(44) S.A. Montzka, J.H. Butler, J.W. Elkins, T.M. Tompson, A.D. Clarke et L.T. Lock, « Present and future trends in the atmospheric burden of ozone-depleting halogens », *Nature*, vol. 398, avril 1999.

(45) Environnement Canada, « Modèles à suivre – Trouver des solutions de rechange », *La Voie verte*, 1997.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

usage s'est rapidement répandu. L'un des problèmes des HCFC et des HFC est qu'ils ont une efficacité énergétique inférieure à celle des CFC. DuPont, plus important producteur de CFC du monde, a cessé d'en fabriquer en 1993, cinq ans plus tôt que prévu au départ, et fabrique maintenant des HCFC et des HFC. Les HCFC sont de très puissants gaz à effet de serre et, aux termes d'amendements au Protocole de Montréal, ils doivent être éliminés graduellement d'ici 2030 dans les pays développés. Certains HFC ont aussi un fort potentiel de réchauffement du globe et de longues durées de vie atmosphérique.

Un progrès intéressant dans la solution du problème des réfrigérants est la mise au point du réfrigérateur thermo-acoustique, qui n'a pas de pièces mobiles et utilise des gaz sans danger pour l'environnement. Bien qu'il soit basé sur un principe simple, sa conception est en fait complexe. Un haut-parleur à l'extrémité d'un tube rempli de gaz produit un son qui y résonne, générant une onde stationnaire[46], qui transmet la chaleur vers le ventre de l'onde[47][48]. Comme cette vibration est contrôlée avec précision, les réfrigérateurs thermo-acoustiques seront moins bruyants que les modèles classiques. Une récente démonstration au Los Alamos National Laboratory a montré que l'on pouvait simplifier les choses en éliminant l'échangeur thermique froid et en refroidissant à la place le gaz à action thermo-acoustique[49].

Autre invention intéressante : le réfrigérateur magnétique, mis au point par l'Astronautics Corporation of America dans le cadre d'un contrat avec le département de l'Énergie des États-Unis. Il a une efficacité énergétique comparable à celle des appareils classiques. Bien que le coût de l'aimant au gadolinium soit un obstacle important à son utilisation généralisée, il sera probablement mis en marché dans un avenir proche pour les grandes entreprises commerciales[50].

Parmi les autres solutions figurent des appareils avec une plus petite quantité mais une plus grande superficie de couverture du refroidissant. Une technique peu coûteuse mais fort utile pour les applications dans le désert a récemment valu à Mohammed Bah Abba, du Nigéria, le prix Rolex à l'esprit d'entreprise. Le système, basé sur les propriétés refroidissantes de

---

(46) Une onde stationnaire est formée de plusieurs ondes identiques superposées.

(47) Région d'amplitude maximale entre deux nœuds voisins d'une onde stationnaire.

(48) « Cooling with Sound: An Effort to Save Ozone Shield », *New York Times*, 25 février 1992.

(49) Peter T. Landsberg, « Thermodynamics: Cool Sounds », *Nature*, août 1998.

(50) Mark Alpert, « A Cool Idea », *Scientific American*, mai 1998.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

l'évaporation, utilise du sable humide entre deux pots d'argile[51]. Le rayonnement ionisant est aussi une technique de remplacement pour la conservation des denrées alimentaires[52].

L'ammoniac est couramment utilisé comme réfrigérant dans l'industrie, pour les installations d'entreposage au froid et dans le secteur pétrochimique, entre autres. Les inconvénients de ce réfrigérant sont sa corrosivité et son inflammabilité à certaines concentrations dans l'air. Des rejets accidentels, exacerbés par la pressurisation de ce système de réfrigération, ont entraîné des blessures et des décès consécutifs à l'inhalation des vapeurs, ainsi que des cas de contamination de l'eau[53]. Pour ce qui est de la couche d'ozone, l'ammoniac entrerait dans des composés stables avant d'atteindre la stratosphère.

Pour remplacer les CFC dans la production de mousses, dont les utilisations vont de l'isolation à la confection de tasses, on a par exemple réduit la quantité de propulseur requis et remplacé les CFC par des HCFC, moins dommageables. Après de nombreuses années de recherches, l'entreprise The Lily Cup Inc., de Toronto, a mis au point une technique novatrice qui utilise comme agent moussant de l'oxygène et du dioxyde de carbone recyclé[54].

Des changements ont été apportés même dans le secteur des soins de santé. Par exemple, les hôpitaux ont réduit leur consommation de CFC comme agents stérilisants. Le Canada est en train d'éliminer graduellement, d'ici 2005, les CFC utilisés comme propulseurs dans les inhalateurs-doseurs. L'utilisation du premier inhalateur-doseur sans CFC a été approuvée en août 1997. Dans ce produit, le CFC propulseur a été remplacé par un hydrofluoroalcane (HFA), qui ne cause pas d'appauvrissement de l'ozone. La sécurité des HFA dans les utilisations médicales a été démontrée par des tests très poussés. L'utilisation de l'inhalateur-doseur sans CFC a maintenant été approuvée dans plus de 35 pays[55].

L'industrie de l'électronique était un des principaux utilisateurs de solvants à base de CFC. Pour la plupart des applications, on a mis au point de nouveaux solvants sans CFC. En 1991, Northern Telecom a élaboré et mis en œuvre une technologie de remplacement pour souder

---

(51) Naomi Lubick, « Desert Fridge », *Scientific American*, novembre 2000.

(52) Alan Hall, « What's the Beef? » *Scientific American*, novembre 1997.

(53) Ammonia Refrigeration, Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor, mars 2001.

(54) William Murray, « Percées technologiques découlant de l'élimination graduelle des CFC », produit pour le Comité permanent de la Chambre des communes chargé de l'environnement, Direction de la recherche parlementaire, Bibliothèque du Parlement, 6 avril 1992, p. 2.

(55) « Vers des inhalateurs sans CFC – La transition vers des inhalateurs-doseurs dans CFC », *La Voie verte*, Environnement Canada, juillet 1999.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

les cartes de circuits électroniques sans devoir au préalable utiliser de solvants[56]. L'entreprise a co-fondé la Coopérative industrielle pour la protection de la couche d'ozone (maintenant devenue l'International Co-operative for Environmental Leadership), qui met en commun les nouvelles technologies. Cette découverte a valu à Northern Telecom l'Appropriate Technology Award du *Financial Post* en 1993[57]. De nombreux fabricants de matériel électronique ont maintenant cessé d'utiliser des CFC.

Le traitement thermique, l'utilisation de la terre de diatomées ou l'utilisation d'organismes vivants dans la lutte antiparasitaire permettent de remplacer le bromure de méthyle pour la fumigation des fruits et légumes et des cultures. La compagnie canadienne Knowzone Solutions Inc. a récemment acquis les droits de la technologie Bromosorb® pour le piégeage du bromure de méthyle après la fumigation.

La société Sécuriplex, du Canada, a mis au point plusieurs substituts des halons dans la lutte contre l'incendie, produits qui éteignent rapidement les feux sans endommager les équipements.

MESURES VISANT LA RÉDUCTION DES AGENTS DESTRUCTEURS

A. Mesures internationales

La communauté internationale a relevé le défi de mettre fin à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique. C'est là l'une des principales raisons de la rapidité du développement technologique de substituts des CFC. Le Canada, qui participe très activement aux discussions internationales, a été parmi les premiers à agir. En mars 1980, il a interdit l'utilisation des CFC dans la plupart des aérosols courants, comme les laques à cheveux, les désodorisants et les antisudorifiques.

En 1985, la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone demandait des mesures volontaires pour réduire les émissions de substances destructrices de l'ozone[58]. Le Canada a été le premier État à ratifier la Convention de Vienne, en juin 1986. Des mesures plus globales ont été acceptées depuis cette première importante entente internationale.

---

(56) « No More Ozone-Depleting Solvents », *Toronto Star*, 16 décembre 1991.

(57) Environnement Canada, « Modèles à suivre », 1997.

(58) Dites aussi « substances appauvrissant la couche d'ozone » (SACO).

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Donnant une démonstration sans précédent de coopération mondiale, des États du monde entier se sont engagés à prendre des mesures strictes pour protéger la couche d'ozone. En septembre 1987, ils ont adopté le Protocole de Montréal, qui comportait un calendrier de réduction et, à terme, d'élimination de la production de CFC et de halons. Le Protocole de Montréal, qui est entré en vigueur le 1er janvier 1989, fonctionne avec un système de barrières commerciales régissant l'approvisionnement en SACO, tout en permettant le transfert entre les Parties d'exemptions pour utilisations essentielles. L'application des clauses du Protocole de Montréal a permis de faire plafonner l'abondance des substances chlorées dans la stratosphère.

Des amendements au Protocole ont :

- accéléré le calendrier de l'élimination progressive des composés chimiques détruisant l'ozone dans la stratosphère;
- ajouté de nouvelles SACO à la liste;
- modifié les exigences concernant les exemptions pour utilisations essentielles.

Dès même la signature du Protocole de Montréal, on était conscient qu'il devrait être assorti de contrôles plus stricts, qui ont été adoptés à la conférence de Londres, en 1990. La liste des substances régies par le Protocole s'est allongée de dix, dont le méthyle chloroforme et le tétrachlorure de carbone. Les dates d'élimination ont été fixées à 2000 et 2010 respectivement pour les pays industrialisés et les pays en développement. De nombreuses Parties à cette conférence se sont engagées à éliminer les CFC au plus tard en 1997, soit trois ans avant l'échéance internationale. L'amendement incluait la création d'un fonds destiné à aider les pays en développement visés par l'article 5 du Protocole. Le Fonds multilatéral a ainsi pu aider les pays en développement à passer à des substances et technologies moins nocives pour l'ozone, en leur fournissant une assistance financière, de la formation et des informations technologiques. Les organismes internationaux responsables de la mise en œuvre du Fonds multilatéral sont :

- le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE);
- le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD);
- l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI);
- la Banque mondiale.

L'amendement de Copenhague de 1992 a resserré le calendrier, de sorte que les pays industrialisés devaient avoir éliminé les CFC, le tétrachlorure de carbone et le méthyle chloroforme en 1996, et les halons en 1994. Le bromure de méthyle et les hydrobromofluorocarbures (HBFC), ainsi que les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), ont

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

également été ajoutés à la liste des substances qui devaient être éliminées, respectivement, en 1996 et 2030. Cet amendement renforçait aussi les contrôles commerciaux et les procédures applicables en cas de non-conformité.

Les ajustements de Vienne de 1995 ont gelé la production et la consommation de bromure de méthyle aux niveaux de 1995-1998 et prévoyaient de geler les niveaux de consommation des HCFC en 2016.

L'amendement de Montréal, élaboré en 1997, a fait passer les échéances d'élimination du bromure de méthyle à 2005 et 2015, respectivement, pour les pays industrialisés et les pays en développement. Un nouveau système de permis faisant intervenir l'échange régulier d'information entre les Parties a été mis au point pour faire cesser le commerce illégal des SACO.

Les initiatives de l'amendement de Beijing de décembre 1999, que le Canada a été l'un des premiers pays à accepter, doivent encore être ratifiées par les 20 pays requis pour qu'il puisse entrer en vigueur. L'amendement inclut de nouvelles limites à la production de HCFC, gelant la production aux niveaux de 1989 en 2004 en vue d'une élimination en 2030 pour les pays industrialisés, et d'un gel aux niveaux de 2015 en 2016 pour les pays en développement[(59)]. Le nouvel amendement interdit aussi à partir de 2004 le commerce des HCFC avec les pays qui n'ont pas encore ratifié l'amendement de Copenhague de 1992. L'élimination d'une SACO récemment mise au point, le bromochlorométhane, doit être réalisée par tous les pays en 2002. En même temps, le comité exécutif du Fonds multilatéral a décidé d'augmenter l'aide accordée à l'Inde et à la Chine pour réduire leur production au cours des 10 prochaines années. Ces pays ont en effet de la difficulté à atteindre leurs objectifs de réduction[(60)].

Les importations de CFC et halons nouvellement produits par les pays industrialisés ont en grande partie été interdites, de même que les importations et exportations d'autres SACO puissantes. Les substances destructrices de l'ozone existantes sont réutilisées et recyclées chaque fois que c'est possible. L'article 5 du Protocole accorde un délai de grâce aux pays en développement dans la mesure où leurs utilisations de SACO n'augmentent pas de façon significative. Ces Parties ont maintenu leur production de CFC aux niveaux de référence de 1995-1997, et entreprennent de réduire l'utilisation de ces substances de 50 p. 100 d'ici 2005.

---

(59) Environment News Service, « Stronger Global Ozone Layer Action Agreed », décembre 1999.

(60) Ehsan Masood, « Ozone recovery will be long-term affair », *Nature*, vol. 373, juin 1998.

Des pays d'Europe de l'Est et de grands pays d'Asie – comme la Russie, la Chine et l'Inde – ont de la difficulté à passer aux technologies de réfrigération avancées. Grâce à la collaboration, les changements essentiels sont en train de se faire juste au moment où ces importantes populations commencent à profiter pleinement de ces technologies utiles. À l'heure actuelle, la Chine est le plus gros producteur de CFC et de halons de la planète. Le Fonds pour l'environnement mondial, par l'entremise du PNUD, a aidé à éliminer graduellement les installations de production de CFC de la Russie et à moderniser la fabrication des appareils en Chine[61] et en Inde; ces deux pays commencent à produire des réfrigérateurs qui utilisent des hydrofluorocarbures et de l'isobutane[62].

En 1997, on estimait à 235 milliards de dollars US les coûts totaux des mesures prises pour protéger la couche d'ozone. Cependant, les effets nocifs sur les pêches, l'agriculture et les matériaux que l'on a ainsi évités sont à eux seuls estimés au double de ce montant[63].

B. Initiatives du gouvernement fédéral

Le Canada a modifié le *Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO), 1998*, pris en application de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, à compter de janvier 2001, pour tenir compte des amendements au Protocole de Montréal, améliorer la réglementation des SACO et régler des problèmes administratifs.

Le règlement fédéral interdit la production et l'importation de CFC et de halons dans la plupart des cas, et fixe des balises strictes aux exportations. L'actuel règlement fédéral interdit l'importation et l'exportation de halons récupérés, sauf aux termes d'un permis.

Les restrictions visant le remplissage de l'équipement encouragent la conversion à des solutions de remplacement. La transition est facilitée par l'imposition d'une baisse de l'approvisionnement, qui fait que le coût des CFC augmente régulièrement alors que celui de ses substituts baisse. La figure ci-dessous présente les réductions de la consommation de SACO au Canada.

---

(61) Environment News Service, « China Warms to Fridge Project », décembre 1999.

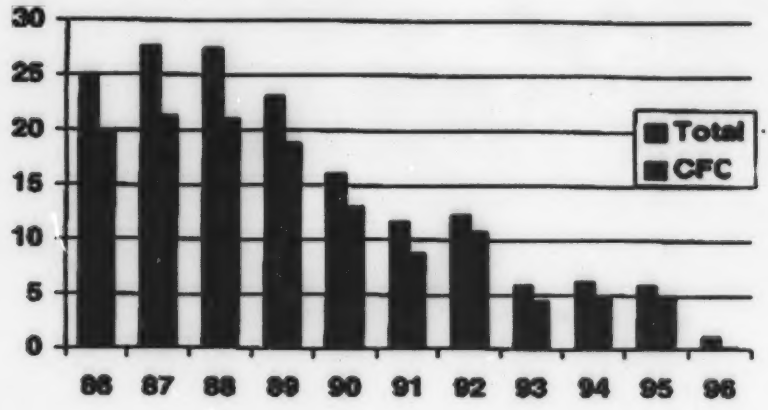
(62) Namrata Singh, « Godrej-GE Appliances to phase out CFC by 2000 », *The Financial Express*, Inde, avril 1998.

(63) PNUE, *Questions fréquentes sur l'ozone posées au groupe d'évaluation scientifique*, 2000.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Figure 4[64]

CONSOMMATION CANADIENNE DE SACO (en kilotonnes)



* toutes les quantités sont pondérées en fonction du PDO

En 1996, les fabricants ont commencé à utiliser des réfrigérants de remplacement pour le nouvel équipement. Cependant, un grand nombre d'appareils contenant des CFC sont restés sur le marché jusqu'à récemment. Ces appareils ont une longue durée de vie utile (environ 13 à 15 ans). Le stock de CFC devrait être disponible pour l'entretien des appareils ménagers jusqu'en 2020.

La production de tétrachlorure de carbone, de méthyle chloroforme et de bromure de méthyle a été arrêtée graduellement dans les pays industrialisés et, au Canada, il ne reste pas de surplus important à gérer.

À l'heure actuelle, le Canada a une seule installation d'incinération permanente approuvée pour l'élimination des SACO, située à Swan Hills, en Alberta. Comme elle a une capacité limitée, le Canada peut permettre que des SACO soient exportées à l'étranger pour y être détruites dans une installation appropriée. Des installations capables de détruire les SACO sont présentement en service en Australie, en Suède, en Allemagne, au Japon, au Royaume-Uni, en Russie et aux États-Unis.

Pour que les Canadiens puissent prendre les précautions voulues contre des niveaux accrus d'UV-B, Environnement Canada a annoncé un service d'avis peu après que la

---

(64) Conseil canadien des ministres de l'environnement, *Plan d'action national*, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, janvier 1998.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

NASA a confirmé qu'il y avait une forte possibilité que la couche d'ozone soit substantiellement appauvrie au-dessus d'une grande partie du Canada. Ce service a débuté le 13 mars 1992, beaucoup plus tôt que prévu au départ, et fournit des informations quotidiennes sur les manières d'éviter l'exposition au soleil dans un contexte de hausse des niveaux d'UV-B; le Canada est ainsi le premier pays à émettre pour l'ensemble de son territoire des prévisions quotidiennes du rayonnement UV solaire. L'Indice UV a été imité dans le monde entier, ce qui permet aux populations de limiter leur exposition lorsque le rayonnement nocif est le plus intense[65].

Un réseau national de stations de surveillance assure une veille continue de la couche d'ozone au-dessus du Canada depuis plus de 30 ans. L'existence de ces premiers enregistrements, avant qu'il y ait eu une quelconque influence majeure de l'homme sur la haute atmosphère, est essentielle pour comprendre les changements survenus. Le Centre mondial des données sur l'ozone et les UV (WOUDC) est un des six centres mondiaux de données reconnus qui font partie du programme Veille de l'atmosphère du globe (VAG), qui relève lui-même de l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Le WOUDC, exploité par la Division des études expérimentales du Service météorologique du Canada[66], est situé à Toronto.

C. Mesures fédérales-provinciales

Les ententes internationales se sont traduites en objectifs nationaux. Au Canada, le gouvernement fédéral a travaillé en étroite coopération avec les provinces pour mettre en œuvre les changements nécessaires. L'industrie aussi s'y est impliquée de plus en plus. En avril 1989, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a chargé le Comité consultatif fédéral-provincial (CCFP) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* de coordonner le développement de mesures de limitation pour tous les territoires de compétence. Le CCME a montré le chemin, en organisant la participation des divers ordres de gouvernement à la réduction, à la récupération et au recyclage des CFC. Le 21 août 1990, le CCME a créé un groupe de travail chargé d'élaborer un Plan d'action national pour la récupération, le recyclage et la régénération des chlorofluorocarbures.

En 1992, le CCME acceptait et publiait le Plan d'action national. La rapidité avec laquelle un plan si vaste a été élaboré témoigne du degré de coopération entre les divers gouvernements devant cet important problème environnemental. Le plan définissait six tâches principales, qui ont été exécutées ou sont encore en cours :

---

(65) Environnement Canada, *Les impacts sur la santé du rayonnement ultraviolet*, septembre 1997.

(66) Autrefois le Service de l'environnement atmosphérique.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

1. imposer – au moyen de règlements provinciaux – la récupération, le recyclage et la régénération des CFC et des HCFC de toutes les utilisations de réfrigération et de climatisation, y compris une interdiction de rejeter délibérément des CFC et des HCFC dans l'atmosphère;
2. élaborer, en collaboration avec les associations industrielles, des programmes de formation en récupération et en recyclage pour le secteur de l'entretien; la formation devait inclure le code de pratiques fédéral pour la réduction des émissions de CFC, ainsi qu'une formation pratique liée à l'équipement;
3. caractériser le stock actuel de CFC au Canada, car cette connaissance est nécessaire pour mesurer l'efficacité des activités de récupération/recyclage et planifier des scénarios de destruction finale;
4. élaborer, avec la participation des associations industrielles et de normalisation, des normes appropriées de qualité des réfrigérants recyclés et de performance de l'équipement de récupération;
5. faire en sorte que le grand public soit informé du problème et de ses solutions, puisque sa réaction et sa participation sont partie intégrante de la solution;
6. réviser les normes d'achat/acquisition du gouvernement, y compris les contrats de service, pour assurer la récupération et le recyclage des CFC, des HCFC et des halons.

Le plus récent *Plan d'action national pour le contrôle environnemental des substances appauvrissant la couche d'ozone et leurs halocarbures de remplacement (PAN)*, publié en 1998 par le Conseil canadien des ministres de l'environnement, vise à continuer de réduire les émissions de substances destructrices de l'ozone.

En 1998, le PAN formulait les objectifs suivants :

- améliorer la gestion environnementale de toutes les SACO et des halocarbures de remplacement et réduire leurs émissions au cours de l'installation, du fonctionnement, de l'entretien, de la mise au rebut et du déclassement des systèmes et des appareils;
- offrir de la cohérence à l'industrie et réduire au minimum les répercussions sur d'autres questions environnementales;
- satisfaire à ces besoins nouveaux en révisant les tâches originales, notamment en recourant aux mesures suivantes :
  - le maintien des tâches originales selon les besoins;
  - l'élargissement de certaines tâches originales afin d'y inclure les halocarbures de remplacement;

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

- des nouvelles tâches qui tiennent compte du « Code de pratiques environnementales visant l'élimination des émissions de chlorofluorocarbures des systèmes de réfrigération et de conditionnement d'air » révisé et favorisent la récupération des frigorigènes;
- des nouvelles tâches qui tiennent compte du « Code de pratiques sur les halons »;
- des nouvelles tâches visant d'autres secteurs industriels afin de réduire les émissions de chlorofluorocarbures;
- des nouvelles tâches afin de fournir la documentation de base nécessaire à l'évaluation de mesures à venir.

Les gouvernements de toutes les provinces et celui d'un territoire ont mis en place des règlements visant le rejet de SACO, et en imposant la récupération et le recyclage[67].

D. Mesures qui restent à prendre

Lors de la plus récente réunion des Parties, à Beijing, le Secrétaire exécutif du Secrétariat de l'ozone, K. Madhava Sarma, a fait remarquer que la consommation et la production de SACO avaient baissé de près de 90 p. 100, mais qu'il reste des obstacles à surmonter. Il s'agissait d'une croissance des émissions due :

- aux exemptions;
- à l'accroissement du réchauffement planétaire qui pourrait retarder le rétablissement de la couche d'ozone;
- à l'arrivée sur le marché de nouvelles substances destructrices de l'ozone;
- à la lenteur de la ratification des amendements du Protocole, illustrée à la figure 5[68].

---

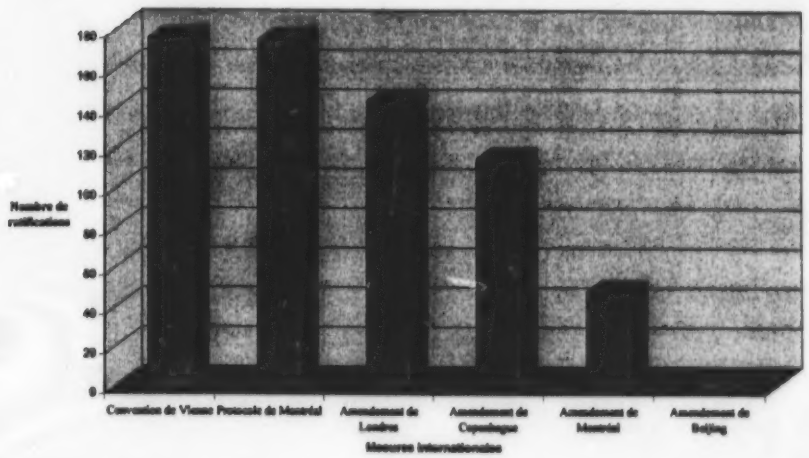
(67) Conseil canadien des ministres de l'environnement, *Plan d'action national*, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, janvier 1998.

(68) *Compte rendu de la 20e réunion du groupe de travail à composition non limitée des parties signataires du traité de Montréal sur les substances nocives à la couche d'ozone* : 11-13 juillet 2000, *Earth Negotiations Bulletin*, vol. 19, n° 7, décembre 2000.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Figure 5

État de la ratification au 22 janvier 2001



Comme il a déjà été mentionné, les HCFC – les substituts actuels des CFC – devront être éliminés dans les prochaines décennies en raison de leur fort potentiel de réchauffement du globe, de sorte qu'il faudra leur trouver, à eux aussi, des substituts.

Il demeure d'importants stocks d'équipements et de matériels contenant des CFC. L'élimination progressive se poursuit dans les pays industrialisés, qui ont utilisé des CFC depuis leur invention, il y a plus de 50 ans. Si l'on ne parvient pas à éliminer les SACO dans les économies montantes d'Asie, en particulier, le Protocole ne donnera pas les résultats escomptés.

Une grande partie des mousses et matériaux d'isolation contenant des CFC sont dans des décharges, et la libération de ces SACO reste incertaine. En outre, il y a dans le monde un milliard d'appareils de réfrigération et de climatisation, dont un grand nombre sont mal entretenus et présentent des fuites de CFC, et qui sont simplement mis en décharge à la fin de leur vie utile. Ces énormes quantités de CFC finiront sans doute par se retrouver dans l'atmosphère.

En raison de la diminution de la production et de l'utilisation de CFC dans les pays industrialisés et de la poursuite de la production dans les pays en développement jusqu'en 2010, il s'est installé une lucrative contrebande internationale de CFC[(69)]. L'étendue de ce commerce illicite est estimée à 10 p. 100 du commerce légal[(70)]. Au cours des réunions, on a

---

(69) David Spurgeon, « Ozone treaty 'must tackle CFC smuggling' », *Nature*, vol. 389, n° 219, septembre 1997.

(70) Vinod Chhabra, « Montreal Protocol and After », *The Financial Express*, Inde, août 1997.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

insisté auprès des Parties au Protocole de Montréal pour qu'elles mettent en place des programmes d'octroi de permis et imposent de lourdes sanctions aux contrebandiers. C'est aux États-Unis que ce marché noir des SACO est actuellement le plus important[71]. Pour lutter contre ce problème, les pays consultés ont suggéré les mesures suivantes :

- rédaction d'une loi;
- coordination des travaux des organismes;
- mise en place d'un système d'octroi de permis;
- formation des procureurs, des agents d'investigation et des agents des douanes[72].

Il a récemment été découvert que, bien que les « gaz à effet de serre » réchauffent l'atmosphère à proximité de la surface de la Terre, ils induisent aussi un refroidissement de la stratosphère qui en modifie l'équilibre radiatif et, donc, renforce le vortex polaire de l'Arctique[73]. Il faut savoir que le réchauffement planétaire est lié à l'appauvrissement de l'ozone dans la stratosphère. En février 1999, Hartmut Grassl, directeur du Programme mondial de recherches sur le climat des Nations Unies, a fait de la haute atmosphère sa toute première priorité, pour donner suite aux préoccupations découlant du fait que l'on ne connaît pas assez les changements subis par la haute atmosphère au-dessus des régions polaires habitées de l'hémisphère Nord[74].

RÉSUMÉ ET CONCLUSION

La vie sur Terre reste un équilibre délicat entre nombre d'éléments différents. L'utilisation de substances destructrices de l'ozone a mis en péril ce qui constitue l'écran solaire de la Terre. Les effets nocifs de l'augmentation du rayonnement UV-B sont en train d'empirer.

---

(71) « 11th MOP to the Montreal Protocol and 5th COP to the Vienna Convention », *Linkages*, décembre 1999.

(72) *Ibid.*

(73) Drew T. Shindell, David Rind et Patrick Lonergan, « Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse-gas concentrations », *Nature*, avril 1998.

(74) Pearce, « Chill in the air », 1999.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Maintenant que les recherches ont confirmé le lien entre le changement climatique et l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'échéance de son rétablissement a dû être repoussée[75].

La communauté internationale a fait preuve d'une coopération jamais vue auparavant pour faire face à cette situation. La réduction, le recyclage et le remplacement des SACO progressent. À ce jour, les pays industrialisés en ont réduit la production et la consommation de 85 p. 100[76]. De nouvelles technologies sont mises au point pour qu'on puisse éliminer les agents destructeurs de l'ozone. Bien que la concentration de chlore dans la stratosphère soit à la baisse et que l'augmentation des halons ralentisse, plusieurs modèles montrent maintenant que le pic de l'appauvrissement de l'ozone devrait survenir aux alentours de 2020, et non de 2000, comme le suggéraient les estimations précédentes[77]. Sans cet effort international pour limiter l'abondance des substances destructrices d'ozone dans l'atmosphère, la situation serait bien pire, et se serait poursuivie pendant de nombreuses décennies de plus.

Si les engagements internationaux sont honorés, la couche d'ozone devrait revenir aux niveaux d'avant 1980 au cours de la seconde moitié de ce siècle[78]. Maintenant que l'on connaît mieux la complexité et les interrelations de la chimie et de la mécanique de l'ozone dans la haute atmosphère, il est essentiel que la communauté planétaire respecte pleinement les dispositions du Protocole de Montréal et les efforts de limitation des émissions de gaz à effet de serre pour que l'on puisse espérer rétablir l'équilibre naturel de la production et de la destruction de l'ozone dans la haute atmosphère.

---

(75) Peter Aldhous, « Global warming could be bad news for Arctic ozone layer », *Nature*, vol. 404, avril 2000.

(76) « 11th MOP to the Montreal Protocol and 5th COP to the Vienna Convention », *Linkages*, décembre 1999.

(77) Shindell, Rind et Lonergan, « Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse-gas concentrations », 1998.

(78) R. Monastersky, « A sign of healing appears in stratosphere », *Science News*, 18 décembre 1999.

ANNEXE

Substances destructrices de l'ozone

Nom chimique	Durée de vie, en années	PDO
CFC-11 (CCl3F) Trichlorofluorométhane	45	1,0
CFC-12 (CCl2F2) Dichlorodifluorométhane	100	1,0
CFC-113 (C2F3Cl3) 1,1,2-Trichlorotrifluoroéthane	85	0,8
CFC-114 (C2F4Cl2) Dichlorotétrafluoroéthane	300	1,0
CFC-115 (C2F5Cl) Monochloropentafluoroéthane	1700	0,6
Halon 1211 (CF2ClBr) Bromochlorodifluorométhane	11	3,0
Halon 1301 (CF3Br) Bromotrifluorométhane	65	10,0
Halon 2402 (C2F4Br2) Dibromotétrafluoroéthane		6,0
CFC-13 (CF3Cl) Chlorotrifluorométhane	640	1,0
CFC-111 (C2FCl5) Pentachlorofluoroéthane		1,0
CFC-112 (C2F2Cl4) Tétrachlorodifluoroéthane		1,0
CFC-111 (C3FCl7) Heptachlorofluoropropane		1,0
CFC-112 (C3F2Cl6) Hexachlorodifluoropropane		1,0
CFC-113 (C3F3Cl5) Pentachlorotrifluoropropane		1,0
CFC-114 (C3F4Cl4) Tétrachlorotétrafluoropropane		1,0
CFC-115 (C3F5Cl3) Trichloropentafluoropropane		1,0
CFC-116 (C3F6Cl2) Dichlorohexafluoropropane		1,0
CFC-117 (C3F7Cl) Chloroheptafluoropropane		1,0
CCl4 Tétrachlorure de carbone	35	1,1
Méthyle chloroforme (C2H3Cl3) 1,1,1-trichloroéthane	4,8	0,1
Bromure de méthyle (CH3Br)	0,7	
CHFBr2		1,0
HBFC-12B1 (CHF2Br)		0,74
CH2FBr		0,73
C2HFBr4		0,3 – 0,8
C2HF2Br3		0,5 – 1,8
C2HF3Br2		0,4 – 1,6

C2HF4Br		0,7 – 1,2
C2H2FBr3		0,1 – 1,1
C2H2F2Br2		0,2 – 1,5
C2H2F3Br		0,7 – 1,6
C2H3FBr2		0,1 – 1,7
C2H3F2Br		0,2 – 1,1
C2H4Br		0,07 – 0,1
C3HFBr6		0,3 – 1,5
C3HF2Br5		0,2 – 1,9
C3HF3Br4		0,3 – 1,8
C3HF4Br3		0,5 – 2,2
C3HF5Br2		0,9 – 2,0
C3HF6Br		0,7 – 3,3
C3H2FBr5		0,1 – 1,9
C3H2F2Br4		0,2 – 2,1
C3H2F3Br3		0,2 – 5,6
C3H2F4Br2		0,3 – 7,5
C3H2F5Br		0,9 – 1,4
C3H3FBr4		0,08 – 1,9
C3H3F2Br3		0,1 – 3,1
C3H3F3Br2		0,1 – 2,5
C3H3F4Br		0,3 – 4,4
C3H4FBr3		0,03 – 0,3
C3H4F2Br2		0,1 – 1,0
C3H4F3Br		0,07 – 0,8
C3H5FBr2		0,04 – 0,4
C3H5F2Br		0,07 – 0,8
C3H6FBr		0,02 – 0,7
HCFC-12 (CHF2Cl) Monochlorodifluorométhane	11,8	0,055
HCFC-123 (C2HF3Cl2) Dichlorotrifluoroéthane	1,4	0,02
HCFC-124 (C2HF4Cl) Monochlorotétrafluoroéthane	6,1	0,022
HCFC-141b (C2H3FCl2) Dichlorofluoroéthane	9,2	0,11
HCFC-142b (C2H3F2Cl) Monochlorodifluoroéthane	18,5	0,065
HCFC-225ca (C3HF5Cl2) Dichloropentafluoropropane	2,1	0,025
HCFC-225cb (C3HF5Cl2) Dichloropentafluoropropane	6,2	0,033

Source : United States Environmental Protection Agency, Global Programs Division, octobre 2000.
Sources originales : Les chiffres figurant dans la colonne Durée de vie sont tirés du tableau 10-8 du document *Scientific Assessment of Ozone Depletion, 1998*, un rapport du Global Ozone Research and Monitoring Project, de l'Organisation météorologique mondiale. Les chiffres de la colonne PDO sont tirés du tableau 11-1 du document *Scientific Assessment of Ozone Depletion*. Les espaces en blanc indiquent que cette information ne figurait pas dans la source originale.